TRƯỜNG ĐẠI HỌC TRÀ VINH (TVU)

HỘI ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH
VÀ MÔI TRƯỜNG VIỆT NAM (VAEGE)

HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC

ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH - ĐỊA KỸ THUẬT VÀ MÔI TRƯỜNG PHỤC VỤ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG (VIETGEO 2025)

NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI

Không phần nào trong xuất bản phẩm này được phép sao chép hay phát hành dưới bất kỳ hình thức hoặc phương tiện nào nếu không được phép của Nhà xuất bản Giao thông vận tải

NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI
Số 8 phố Tăng Bạt Hổ - Phường Cửa Nam - TP. Hà Nội
Điện thoại: 024 39423346 - 39424620 * Fax: 024 38224784
Website: www.nxbgtvt.vn

Chịu trách nhiệm xuất bản, nội dung:
Giám đốc - Tổng Biên tập:
NGUYỄN MINH NHẬT

Biên tập nội dung:
VŨ VĂN BÁI

Biên tập sách điện tử:
VŨ VĂN BÁI

Kỹ thuật sách điện tử:
NGÔ NHỊ LƯƠNG

Trình bày:
HIỀN LƯƠNG

Số xác nhận đăng ký xuất bản: 3850-2025/CXBIPH/1-78/GTVT.
Số quyết định xuất bản: 13 NB/QĐSĐT-XBGT ngày 22/10/2025.
Nộp lưu chiểu tháng 10 năm 2025.
ISBN: 978-604-76-3233-6

TRƯỜNG ĐẠI HỌC TRÀ VINH
(TVU)

HỘI ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH
VÀ MÔI TRƯỜNG VIỆT NAM (VAEGE)

NGÀY 24 & 25 THÁNG 10 NĂM 2025

HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC

ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH - ĐỊA KỸ THUẬT VÀ MÔI TRƯỜNG PHỤC VỤ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG

(VIETGEO 2025)

NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI

HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC
VIETGEO 2025

BAN TỔ CHỨC:

1.	PGS. TS Tạ Đức Thịnh	Chủ tịch Hội Địa chất công trình và môi trường Việt Nam
2.	PGS.TS Nguyễn Minh Hòa	Hiệu trưởng Trường Đại học Trà Vinh
3.	GS.TSKH Phạm Văn Tỵ	Hội Địa chất công trình và môi trường Việt Nam
4.	PGS.TS Nguyễn Huy Phương	Hội Địa chất công trình và môi trường Việt Nam
5.	GS.TS Trần Thanh Hải	Hiệu trưởng Trường Đại học Mỏ - Địa chất
6.	PGS.TS Bùi Trường Sơn	Trường Đại học Mỏ - Địa chất
7.	TS. Nguyễn Thành Dương	Trường Đại học Mỏ - Địa chất
8.	PGS.TS Nguyễn Văn Lâm	Chủ tịch Hội Địa chất thủy văn Việt Nam
9.	GS.TS Phạm Quý Nhân	Phó Chủ tịch Hội Địa chất thủy văn Việt Nam
10.	PGS.TS Nguyễn Xuân Thảo	Chủ tịch Hội Công nghệ Khoan - Khai thác Việt Nam
11.	TS. Phạm Quốc Phong	Phó Hiệu trưởng Trường Kỹ thuật và Công nghệ - Trường Đại học Trà Vinh
12.	TS. Huỳnh Văn Hiệp	Trường Đại học Trà Vinh
13.	TS. Võ Minh Huy	Trường Đại học Trà Vinh
14.	TS. Phan Văn Huệ	Hiệu trưởng Trường Đại học Xây dựng Miền Trung
15.	TS. Phạm Ngọc Tiến	Chủ tịch Hội đồng trường Trường Đại học Xây dựng Miền trung
16.	TS. Phan Tuấn Anh	Phó Hiệu trưởng Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế
17.	PGS.TS Lê Hoài Đức	Phó Hiệu trưởng Trường Đại học Giao thông vận tải
18.	TS. Phan Minh Quốc Bình	Hiệu trưởng Trường Đại học Dầu khí Việt Nam
19.	PGS.TS Phạm Trần Vũ	Phó Hiệu trưởng Trường Đại học Bách khoa TP. Hồ Chí Minh
20.	TS. Nguyễn Đắc Đồng	Chủ tịch Tổng hội Địa chất Việt Nam

BAN KHOA HỌC:

1.	PGS.TS. Bùi Trường Sơn	Trường Đại học Mỏ - Địa chất (Trưởng ban)
2.	TS. Huỳnh Văn Hiệp	Trường Đại học Trà Vinh (Phó Trưởng ban)
3.	PGS.TS Nguyễn Đức Mạnh	Trường Đại học Giao thông Vận tải
4.	PGS.TS Nguyễn Thị Nụ	Trường Đại học Mỏ - Địa chất
5.	GS.TS Đỗ Minh Đức	Trường Đại học Khoa học tự nhiên
6.	PGS.TS Đậu Văn Ngọ	Hội Địa chất công trình và môi trường Việt Nam
7.	GS.TS Phạm Quý Nhân	Hội Địa chất thủy văn Việt Nam
8.	PGS.TS Phạm Huy Giao	Trường Đại học Dầu khí Việt Nam
9.	PGS.TS Phạm Đức Thọ	Trường Đại học Mỏ - Địa chất
10.	PGS.TS Vũ Minh Ngạn	Trường Đại học Mỏ - Địa chất
11.	PGS.TS Trần Thanh Nhàn	Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế
12.	PGS.TS Đỗ Quang Thiên	Trường ĐH Khoa học, Đại học Huế

13.	TS. Nguyễn Văn Phóng	Trường Đại học Mỏ - Địa chất
14.	TS. Nguyễn Bách Thảo	Trường Đại học Mỏ - Địa chất
15.	TS. Trần Quang Tuấn	Trường Đại học Mỏ - Địa chất
16.	TS. Nguyễn Tiến Hùng	Hội Công nghệ Khoan - Khai thác Việt Nam
17.	TS. Nguyễn Khắc Long	Trường Đại học Mỏ - Địa chất
18.	TS. Nguyễn Thành Dương	Trường Đại học Mỏ - Địa chất
19.	TS. Bùi Trọng Vinh	Trường Đại học Bách khoa TP. HCM
20.	TS. Đào Hồng Hải	Trường Đại học Bách khoa TP. HCM
21.	TS. Nguyễn Công Định	Trường Đại học Giao thông Vận tải
22.	TS. Võ Minh Huy	Trường Đại học Trà Vinh
23.	TS. Lê Đàm Ngọc Tú	Trường Đại học Xây dựng Miền Trung
24.	TS. Nguyễn Thanh Danh	Trường Đại học Xây dựng Miền Trung

BAN THƯ KÝ:

1.	TS. Nguyễn Thành Dương	Trường Đại học Mỏ - Địa chất (Trưởng ban)
2.	TS. Huỳnh Văn Hiệp	Trường Đại học Trà Vinh (Phó trưởng ban)
3.	ThS. Dương Thị Chiểu	Trường Đại học Trà Vinh
4.	ThS. Trịnh Thị Anh Duyên	Trường Đại học Trà Vinh
5.	ThS. Nguyễn Thành Công	Trường Đại học Trà Vinh
6.	ThS. Từ Hồng Nhung	Trường Đại học Trà Vinh
7.	TS. Dương Văn Bình	Trường Đại học Mỏ - Địa chất
8.	ThS. Phạm Thị Ngọc Hà	Trường Đại học Mỏ - Địa chất
9.	ThS. Nguyễn Văn Hùng	Trường Đại học Mỏ - Địa chất
10.	TS. Nguyễn Khắc Long	Trường Đại học Mỏ - Địa chất
11.	TS. Nguyễn Bách Thảo	Trường Đại học Mỏ - Địa chất

BAN BIÊN TẬP:

TẠ ĐỨC THỊNH
BÙI TRƯỜNG SƠN
NGUYỄN THÀNH DƯƠNG
HUỲNH VĂN HIỆP
DƯƠNG VĂN BÌNH
NGUYỄN VĂN HÙNG

ĐƠN VỊ TỔ CHỨC

- Trường Đại học Trà Vinh
- Hội Địa chất công trình và môi trường Việt Nam
- Hội Địa chất Thủy văn Việt Nam
- Hội Công nghệ Khoan - Khai thác Việt Nam
- Tổng Hội Địa chất Việt Nam
- Trường Đại học Mỏ - Địa chất
- Trường Đại học Giao thông vận tải
- Trường Đại học Bách khoa Thành phố Hồ Chí Minh
- Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế
- Trường Đại học Xây dựng Miền Trung
- Trường Đại học Dầu khí Việt Nam

ĐƠN VỊ ĐỒNG HÀNH

- Trung tâm Nghiên cứu Địa kỹ thuật, Trường Đại học Mỏ - Địa chất
- Công ty CP Khoa học công nghệ Bách Khoa TP.HCM (BKTECHS)
- Công ty TNHH Nam Miền Trung
- Công ty TNHH Xuất nhập khẩu Phú Thành Phát
- Công ty TNHH Tư vấn, Triển khai công nghệ và xây dựng Mỏ - Địa chất (CODECO)
- Công ty CP Khảo sát thiết kế xây dựng Đất Việt

LỜI NÓI ĐẦU

Tiếp nối thành công của các kỳ Hội nghị khoa học VIETGEO, Hội nghị khoa học toàn quốc VIETGEO 2025 với chủ đề "Địa chất công trình - Địa kỹ thuật và Môi trường phục vụ phát triển bền vững" được tổ chức tại Trường Đại học Trà Vinh trong hai ngày 24 - 25 tháng 10 năm 2025.

Hội nghị do Trường Đại học Trà Vinh và Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam đồng chủ trì cùng sự phối hợp của một số trường đại học, hội nghề nghiệp về các lĩnh vực địa chất công trình, địa kỹ thuật, xây dựng, địa chất thủy văn, môi trường và công nghệ khoan - khai thác.

Ban Tổ chức Hội nghị đã nhận được hơn 120 bài báo khoa học của các giảng viên, nhà khoa học, chuyên gia từ các trường đại học, viện nghiên cứu và doanh nghiệp trong cả nước. Sau quá trình phản biện nghiêm túc, 75 bài báo có chất lượng cao đã được chọn đăng trong Kỷ yếu Hội nghị VIETGEO 2025 do Nhà Xuất bản Giao thông Vận tải ấn hành.

Các bài báo trong Kỷ yếu tập trung nghiên cứu về các chủ đề:

- *Địa chất công trình - Địa kỹ thuật,*
- *Địa chất thủy văn, tài nguyên nước và môi trường,*
- *Kỹ thuật xây dựng và Vật liệu xây dựng,*
- *Vật liệu địa kỹ thuật,*
- *Công nghệ khoan - khai thác,*
- *Tai biến địa chất và công nghệ quan trắc - cảnh báo sớm.*

Hội nghị khoa học toàn quốc VietGeo 2025 là diễn đàn để các nhà khoa học, chuyên gia và doanh nghiệp chia sẻ kết quả nghiên cứu mới; trao đổi kinh nghiệm và tăng cường hợp tác về khoa học, công nghệ và chuyển đổi số về các chủ đề nêu trên, cung cấp luận cứ đề xuất các chính sách, giải pháp kỹ thuật góp phần phát triển kinh tế - xã hội khu vực Đồng bằng sông Cửu Long.

Trong quá trình chuẩn bị Hội nghị, Ban Tổ chức đã nhận được sự hỗ trợ quý báu cả về tinh thần và vật chất của một số trường đại học, viện nghiên cứu, hội nghề nghiệp cùng sự đồng hành của nhiều đơn vị, doanh nghiệp và các cá nhân. Ban Tổ chức xin gửi lời cảm ơn sâu sắc đến các cơ quan, tổ chức, cá nhân vì sự hỗ trợ quý báu đó. Đặc biệt, Ban Tổ chức xin cảm ơn và ghi nhận đóng góp to lớn của các tác giả bài báo khoa học, các phản biện, Ban Khoa học, Ban Thư ký và đội ngũ tình nguyện viên đã làm việc hết sức mình, tận tâm, chuyên nghiệp, đảm bảo chất lượng, tiến độ và sự thành công của Hội nghị.

Ban Tổ chức Hội nghị VIETGEO 2025 xin chân thành cảm ơn Nhà Xuất bản Giao thông Vận tải đã hỗ trợ xuất bản cuốn Kỷ yếu Hội nghị. Mặc dù đã có nhiều nỗ lực trong công tác biên tập và xuất bản, cuốn Kỷ yếu khó tránh khỏi những thiếu sót. Chúng tôi rất mong nhận được ý kiến đóng góp quý báu từ bạn đọc để Kỷ yếu của các kỳ hội nghị sau được hoàn thiện hơn.

BAN TỔ CHỨC HỘI NGHỊ

Vĩnh Long, ngày 24 tháng 10 năm 2025

THƯ CẢM ƠN

Hiệu trưởng Trường Đại học Trà Vinh

Trân trọng cảm ơn

Trong tinh thần hợp tác học thuật và phát triển bền vững, Trường Đại học Trà Vinh vinh dự phối hợp cùng Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam đồng tổ chức Hội nghị Khoa học toàn quốc "Địa chất công trình - Địa kỹ thuật và Môi trường phục vụ phát triển bền vững - VIETGEO 2025", diễn ra ngày 24 - 25/10/2025 tại Trường Đại học Trà Vinh.

Hội nghị là dịp để các nhà khoa học, chuyên gia và đơn vị nghiên cứu trên toàn quốc gặp gỡ, chia sẻ tri thức, giới thiệu những kết quả nghiên cứu có giá trị và cùng tìm kiếm các giải pháp ứng dụng vào thực tiễn. Đây cũng là cơ hội để Trường Đại học Trà Vinh đóng góp, chia sẻ và mở rộng hợp tác trong lĩnh vực địa chất, địa kỹ thuật, tài nguyên và môi trường - những lĩnh vực có ý nghĩa quan trọng đối với sự phát triển bền vững của quốc gia và vùng Đồng bằng sông Cửu Long.

Thay mặt tập thể cán bộ, giảng viên và sinh viên Trường Đại học Trà Vinh, tôi xin gửi lời cảm ơn chân thành đến Ban Tổ chức Hội nghị VIETGEO 2025, các cơ quan hữu quan và toàn thể các nhà khoa học đã dành nhiều tâm huyết, trí tuệ và thời gian để tạo nên một diễn đàn khoa học có ý nghĩa sâu sắc.

Những đóng góp quý báu của Quý vị không chỉ làm nên thành công của Hội nghị, mà còn góp phần lan tỏa tinh thần nghiên cứu, đổi mới và hợp tác trong cộng đồng khoa học Việt Nam. Tôi tin tưởng rằng, những giá trị học thuật được trao đổi tại VIETGEO 2025 sẽ tiếp tục được phát huy, trở thành nền tảng cho các dự án hợp tác nghiên cứu và đào tạo trong tương lai.

Trường Đại học Trà Vinh luôn trân trọng cơ hội được đồng hành cùng Quý vị trong sứ mệnh chung - phát triển khoa học, phục vụ cộng đồng và hướng tới phát triển bền vững.

Xin trân trọng cảm ơn!

HIỆU TRƯỞNG

PGS. TS. Nguyễn Minh Hòa

MỤC LỤC

Chủ đề I: ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH VÀ ĐỊA KỸ THUẬT

1. PHÁT HIỆN SẠT LỞ ĐẤT DỰA TRÊN KỸ THUẬT HỌC SÂU
Nguyễn Kim Cường, Kei Kawamura, Nguyễn Trung Kiên 8

2. NGHIÊN CỨU CHẤT LƯỢNG CẤP PHỐI VỮA CHÈN LẤP VỎ HẦM TBM DỰ ÁN TUYẾN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ THÍ ĐIỂM THÀNH PHỐ HÀ NỘI, ĐOẠN NHỔN - GA HÀ NỘI
Nguyễn Thị Nụ, Bùi Trường Sơn, Ngô Thị Thoan, Ngô Văn Luyện 15

3. GEOLOGICAL EVOLUTION AND GEOMORPHOLOGICAL HERITAGES OF THE NAM O ROCKY SHORE PLATFORM IN THE COASTAL AREA OF DANANG, VIETNAM
La Duong Hai, Pham Phuoc Toan, Do Quang Thien 22

4. XÁC ĐỊNH CÁC CHỈ TIÊU CHO DỰ TÍNH ĐỘ LÚN ỔN ĐỊNH CỦA NỀN ĐẤT YẾU BẰNG THÍ NGHIỆM DILATOMETER, ÁP DỤNG CHO KHU VỰC CÁI MÉP
Nguyễn Văn Phóng, Phan Tự Hướng, Phan Thành Tiền, Trương Thanh Cần 32

5. NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG HỆ THỐNG PHÂN CẤP VÀ TIÊU CHÍ PHÂN ĐỊNH ĐỊA TẦNG ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH
Nguyễn Văn Phóng, Bùi Trường Sơn, Bùi Văn Bình, Nguyễn Song Thanh, Nguyễn Tiến Dũng 43

6. NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG LŨ BÙN ĐÁ TẠI TRÀ LENG, THÀNH PHỐ ĐÀ NẴNG BẰNG PHẦN MỀM IRIC - MORPHO 2DH
Vũ Văn Kiên, Nguyễn Châu Lân, Đỗ Tuấn Nghĩa 53

7. KHẢO SÁT ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH CHO CÁC DỰ ÁN ĐIỆN GIÓ NGOÀI KHƠI: THỬ THÁCH VÀ KINH NGHIỆM THỰC TẾ
Trương Thanh Cần, Nguyễn Quỳnh Luân, Nguyễn Văn Phóng 64

8. ỨNG DỤNG PHẦN MỀM STATISTICAL PROCESS TRONG XỬ LÝ THỐNG KÊ KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM ĐẤT ĐÁ
Phan Tự Hướng, Đỗ Minh Tính 73

9. NGHIÊN CỨU, ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP XỬ LÝ THẤM QUA NỀN ĐẬP HỒ CHỨA NƯỚC SÔNG THAN, TỈNH KHÁNH HÒA
Phạm Thị Ngọc Hà, Nguyễn Tấn Sơn, Bùi Trường Sơn, Nguyễn Thành Dương 82

10. NGHIÊN CỨU ĐỊA KỸ THUẬT PHỤC VỤ QUY HOẠCH XÂY DỰNG ĐÔ THỊ ÁP DỤNG CHO PHƯỜNG HẢI DƯƠNG, THÀNH PHỐ HẢI PHÒNG
Đỗ Hồng Thắng 91

11. PHÂN TÍCH THẤM VÀ ỔN ĐỊNH ĐẬP ĐẤT TRONG TRƯỜNG HỢP MỰC NƯỚC THƯỢNG LƯU HẠ THẤP NHANH
Nguyễn Văn Hướng, Nguyễn Trung Quân, Nguyễn Thị Lộc, Nguyễn Văn Tươi, Nguyễn Quang Huy 99

12. ĐÁNH GIÁ ỔN ĐỊNH ĐẬP ĐẤT KHI XẢY RA ĐỘNG ĐẤT: ÁP DỤNG CHO ĐẬP ĐẤT THƯỢNG KON TUM
Nguyễn Trung Quân, Nguyễn Quang Huy, Nguyễn Thị Lộc, Lê Ngọc Viên, Nguyễn Văn Hướng 109

13. ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA TỶ LỆ BẢN ĐỒ ĐỊA CHẤT ĐẾN VIỆC CHỌN TUYẾN ĐƯỜNG CAO TỐC TUYÊN QUANG - HÀ GIANG, ĐOẠN QUA TỈNH TUYÊN QUANG CŨ
Nguyễn Đức Đảm, Phạm Thái Bình, Nguyễn Đức Mạnh, Nguyễn Công Định 120

14. NGHIÊN CỨU SỨC CHỐNG CẮT ĐẤT SÉT LẪN SẠN TRÊN MẪU CHẾ BỊ CÓ KÍCH THƯỚC KHÁC NHAU BẰNG THIẾT BỊ CẮT PHẲNG
Cao Trọng Công, Nguyễn Đức Mạnh, Nguyễn Châu Lân, Phạm Thu Trang 127

15. XÂY DỰNG MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM TRONG PHÒNG KHẢO SÁT SỰ LÀM VIỆC CỦA NHÓM TRỤ VẬT LIỆU HẠT RỜI KẾT HỢP VỚI LƯỚI ĐỊA KỸ THUẬT TRONG XỬ LÝ NỀN ĐẤT YẾU
Nguyễn Hải Hà, Nguyễn Đức Mạnh, Nguyễn Thái Linh, Lê Thị Hồng Vân 135

16. ẢNH HƯỞNG TRƯỢT NÔNG TỚI ỔN ĐỊNH NỀN ĐƯỜNG GIAO THÔNG Ở VÙNG NÚI - NGHIÊN CỨU ĐIỂN HÌNH TUYẾN TL128 ĐOẠN TỪ CHĂN NƯA ĐI SÌN HỒ, TỈNH LAI CHÂU
Nguyễn Việt Tiệp, Nguyễn Đức Mạnh, Mai Sỹ Hùng 145

17. ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC - KINH NGHIỆM THẾ GIỚI VỀ QUY HOẠCH, XÂY DỰNG, VẬN HÀNH VÀ KHẢO SÁT ĐỊA KỸ THUẬT
Nguyễn Thành Dương, Nguyễn Quang Phích 155

18. THÀNH LẬP BẢN ĐỒ SỬ DỤNG ĐẤT CHO KHU VỰC XÃ SỐP CỘP, TỈNH SƠN LA PHỤC VỤ ĐÁNH GIÁ NGUY CƠ TRƯỢT LỞ DỰA TRÊN DỮ LIỆU VIỄN THÁM VÀ GIS
Dương Văn Bình, Phạm Thị Việt Nga, Phạm Thị Ngọc Hà 163

19. ÁP DỤNG PHƯƠNG PHÁP XÁC SUẤT TRONG DỰ BÁO ĐỘ LÚN CỐ KẾT CỦA NỀN ĐƯỜNG ĐẤT YẾU
Bùi Văn Bình 171

20. NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG VẬT LIỆU ĐÁ TỰ NHIÊN TRONG XÂY DỰNG ĐƯỜNG GIAO THÔNG Ở NINH THUẬN
Phạm Minh Tân, Bùi Trường Sơn 179

21. NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG XỈ ĐÁY LÒ NHIỆT ĐIỆN THAY THẾ CÁT TỰ NHIÊN TRONG VỮA XÂY
Nguyễn Văn Hùng 186

22. NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA LƯỢNG MƯA TỚI ỔN ĐỊNH NỀN ĐƯỜNG ĐẮP CAO TRÊN TUYẾN CAO TỐC ĐỒNG ĐĂNG - TRÀ LĨNH BẰNG MÔ PHỎNG SỐ
Nguyễn Bá Đồng, Nguyễn Đức Hạnh 194

23. CƠ SỞ VÀ CÔNG NGHỆ CHUYỂN ĐỔI SỐ ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH - ĐỊA KỸ THUẬT
Nhữ Việt Hà 202

24. MỘT SỐ VẤN ĐỀ VỀ CÔNG TÁC QUẢN LÝ CÔNG TRÌNH ĐỂ PHÒNG TRÁNH SỰ CỐ TRONG XÂY DỰNG
Nguyễn Thị Nụ 211

25. RIVER DYNAMICS AND POST-FLOOD SAND REGENERATION: A GEODYNAMIC AND SEDIMENTOLOGICAL APPROACH
Pham Phuoc Toan, Do Quang Thien 218

Chủ đề II: KỸ THUẬT XÂY DỰNG VÀ VẬT LIỆU ĐỊA KỸ THUẬT

26. ĐỀ XUẤT TỶ LỆ PHỐI TRỘN XỈ LÒ CAO VỚI CÁT LÀM VẬT LIỆU THAY THẾ CÁT TRONG XÂY DỰNG
Nguyễn Thị Thanh Nhàn, Trần Thanh Nhàn, Trần Thị Ngọc Quỳnh, Đỗ Quang Thiên 228

27. THEORETICAL DEVELOPMENT OF AN ADAPTIVE RISK ASSESSMENT MODEL FOR LARGE-SCALE INFRASTRUCTURE PROJECTS: A CASE STUDY OF THE MEKONG DELTA, VIETNAM
Minh-Huy Vo, Jyh-Bin Yang 238

28. MỘT NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM BÊ TÔNG NHIỀU TRO BAY SỬ DỤNG VẬT LIỆU ĐỊA PHƯƠNG TỈNH VĨNH LONG TRONG XÂY DỰNG BỀN VỮNG
Huỳnh Thị Mỹ Dung, Huỳnh Văn Hiệp, Nguyễn Thanh Sang 253

29. MÔ HÌNH LƯỚI MÔ PHỎNG TRUYỀN NHIỆT TRONG BÊ TÔNG
Nguyễn Lê Đạt, Phạm Đức Thọ, Đặng Trung Thành 263

30. NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ IoT TRONG KIỂM SOÁT VÀ GIÁM SÁT BIẾN DẠNG KẾT CẤU BÊ TÔNG
Nguyễn Duyên Phong, Uông Quang Tuyến, Trần Tuấn Minh, Đặng Trung Thành 268

31. VAI TRÒ CỦA KÍCH THƯỚC HẠT CÁT TRONG VIỆC KIỂM SOÁT ĐỘ BÁM DÍNH CỦA SỢI THÉP TRONG BÊ TÔNG
Đặng Văn Phi 274

32. ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ THI CÔNG GIẾNG ĐỨNG VSM TRONG XÂY DỰNG BÃI ĐỖ XE NGẦM TẠI KHU VỰC ĐÔ THỊ HÀ NỘI
Vũ Minh Ngạn, Vũ Thái Linh 281

33. ỨNG DỤNG VẬT LIỆU GEOPOLYMER TRONG ĐỊA KỸ THUẬT: MỘT TỔNG QUAN VỀ TÀI LIỆU NGHIÊN CỨU
Trần Nguyễn Thiện Tâm, Hoàng Trọng Quang 289

Chủ đề III: ĐỊA CHẤT THỦY VĂN, TÀI NGUYÊN NƯỚC VÀ MÔI TRƯỜNG

34. NGHIÊN CỨU XÂM NHẬP MẶN CÁC TẦNG CHỨA NƯỚC VEN BIỂN Ở VIỆT NAM: THỰC TRẠNG VÀ THÁCH THỨC
Phạm Quý Nhân 301

35. ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP TRƯỜNG CHUYỂN XÁC ĐỊNH RANH GIỚI MẶN NHẠT CÁC TẦNG CHỨA NƯỚC TRẦM TÍCH TẠI ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG
Trần Vũ Long, Phạm Quý Nhân, Vũ Thu Hiền, Đào Đức Bằng 318

36. ĐÁNH GIÁ CÁC NGUỒN THẢI VÀ KHẢ NĂNG TIẾP NHẬN NƯỚC THẢI CỦA HỒ CẤM SƠN
Nguyễn Mai Hoa 324

37. THỰC TRẠNG QUẢN LÝ CHẤT THẢI ĐIỆN TỬ, THÁCH THỨC VÀ CƠ HỘI Ở VIỆT NAM
Phạm Khánh Huy 331

38. MỘT SỐ TÍNH CHẤT VẬT LÝ, HÓA HỌC VÀ CƠ HỌC CỦA TRO ĐÁY LÒ ĐỐT RÁC THẢI SINH HOẠT KHU VỰC PHÍA BẮC VIỆT NAM
Phùng Đại Bình, Vũ Anh Tuấn, Phạm Đức Tiệp, Phạm Đức Phong, Bùi Đức Thụ 338

39. ỨNG DỤNG MÔ HÌNH SỐ PHẦN TỬ HỮU HẠN MÔ PHỎNG, DỰ BÁO DÒNG CHẢY VÀ DỊCH CHUYỂN KIM LOẠI NẶNG HOÀ TAN TRONG NƯỚC DƯỚI ĐẤT TẠI KHU VỰC CỒN CÁT VEN BIỂN BÌNH THUẬN
Trần Vũ Long, Nguyễn Văn Lâm, Đào Đức Bằng, Nguyễn Bách Thảo, Dương Thị Thanh Thuỷ, Trần Quang Tuấn, Vũ Thu Hiền 348

40. ĐÁNH GIÁ HIỆN TRẠNG KHAI THÁC TÀI NGUYÊN NƯỚC DƯỚI ĐẤT KHU VỰC ĐĂK NÔNG
Trần Thị Thanh Thủy, Trần Thị Kim Hà 356

41. ĐIỀU KIỆN THỦY VĂN LƯU VỰC SÔNG CÁI ĐOẠN PHAN RANG - NINH THUẬN VÀ CÁC GIẢI PHÁP KHAI THÁC SỬ DỤNG NGUỒN NƯỚC HIỆU QUẢ CHO CÁC CÔNG TRÌNH TRONG KHU VỰC
Vũ Thu Hiền 364

42. XÂY DỰNG CÁC LỚP DỮ LIỆU ĐỊA HÌNH TỪ DEM SỬ DỤNG ARCGIS PRO PHỤC VỤ NGHIÊN CỨU NGUY CƠ LŨ LỤT
Phạm Thị Thanh Hòa, Trần Hồng Hạnh, Lưu Thị Diệu Chinh 369

43. ỨNG DỤNG FEFLOW MÔ PHỎNG LAN TRUYỀN ẨM VÀ DỊCH CHUYỂN KIM LOẠI NẶNG TRONG ĐỚI KHÔNG BÃO HOÀ
Trần Vũ Long, Vũ Thu Hiền 378

44. ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG XỬ LÝ NƯỚC NHIỄM CÁC LOẠI NHIÊN LIỆU KHÁC NHAU BẰNG VẬT LIỆU CELLULOSE-AEROGEL TỔNG HỢP TỪ QUẢ GÒN
Trương Thị Cẩm Trang, Tăng Thế Vinh, Nguyễn Đăng Khoa 385

45. CƠ SỞ DỮ LIỆU NỀN ĐỊA LÝ TỶ LỆ LỚN - NỀN TẢNG PHỤC VỤ QUẢN LÝ KHÔNG GIAN BỀN VỮNG KHU VỰC PHÚC THỌ, HÀ NỘI
Trần Hồng Hạnh 392

Chủ đề IV: CÔNG NGHỆ KHOAN - KHAI THÁC

46. DEPTH-DEPENDENT STABILITY ANALYSIS OF BENTONITE SLURRY TRENCH: A COMPARATIVE STUDY USING 2D AND 3D
Le Thi Cat Tuong, Nguyen Van Hai, Nguyen Thanh Danh, Phạm Ngoc Tan, Nguyen Thanh Son, Vo Thanh Toan, Trinh Van Thao 402

47. THE ROLE OF HORIZONTAL DRILLING AND HYDRAULIC FRACTURING
Binh T. Bui 411

48. THIẾT KẾ TỐI ƯU CHOÒNG KHOAN ĐA TINH THỂ (PDC) ĐỂ KHOAN QUA ĐỊA TẦNG MIOCENE HẠ TẠI MỎ X, BỂ NAM CÔN SƠN
Đỗ Quang Khánh, Tạ Văn Cường, Trần Quan Long 422

49. DỰ BÁO TỶ TRỌNG TUẦN HOÀN TƯƠNG ĐƯƠNG SỬ DỤNG DỮ LIỆU KHOAN
Nguyễn Hữu Trường, Nguyễn Đức Thịnh 431

50. NGHIÊN CỨU, ĐÁNH GIÁ TIỀM NĂNG ĐỊA NHIỆT VÙNG ĐỒNG BẰNG SÔNG HỒNG
Đỗ Đình Khuyến, Nguyễn Văn Thịnh 440

51. ỨNG DỤNG MÔ HÌNH HÓA THỦY LỰC TRONG ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ CÔNG ĐOẠN KHOAN 12-1/4" GIẾNG X, MỎ BẠCH HỔ
Trương Văn Từ, Nguyễn Khắc Long 450

52. PENETRATION RATE PREDICTION USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY
Nguyen Huu Truong 458

53. NGHIÊN CỨU QUY TRÌNH XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐỊA CHẤT 3D CHO TẦNG TRẦM TÍCH NÔNG DƯỚI ĐÁY BIỂN ĐỂ PHỤC VỤ PHÁT TRIỂN CÁC TRANG TRẠI ĐIỆN GIÓ NGOÀI KHƠI
Đỗ Duy Khoản, Nguyễn Văn Thịnh, Tạ Quốc Dũng, Nhữ Việt Hà 466

54. DỰ BÁO NGUY CƠ SINH CÁT TRONG TẦNG CHỨA CỐ KẾT YẾU TẠI LÔ 01&02, BỒN TRŨNG CỬU LONG
Phạm Quý Ngọc, Nguyễn Văn Thuận, Phạm Xuân Toàn, Nguyễn Minh Quý 476

55. ĐẶC ĐIỂM THI CÔNG GIẾNG KHOAN TRONG ĐIỀU KIỆN DỊ THƯỜNG ÁP SUẤT
Trương Văn Từ, Nguyễn Khắc Long 487

Chủ đề V: TAI BIẾN ĐỊA CHẤT VÀ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG

56. A PERSONAL REVIEW OF LAND SUBSIDENCE STUDIES
Pham Huy Giao 498

57. NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ SẠT LỞ VÀ BIỆN PHÁP BẢO VỆ TALUY ĐƯỜNG ĐOẠN QUA XÃ XUÂN LONG, HUYỆN ĐỒNG XUÂN, TỈNH PHÚ YÊN
Võ Thanh Toàn, Nguyễn Thanh Danh, Nguyễn Văn Hải, Nguyễn Thành Sơn 510

58. TỔ CHỨC KHÔNG GIAN CÔNG CỘNG ĐÔ THỊ GẮN VỚI KẾT NỐI CỘNG ĐỒNG VÀ TẠO LẬP BẢN SẮC TINH THẦN NƠI CHỐN HƯỚNG ĐẾN PHÁT TRIỂN NHÂN VĂN, BỀN VỮNG
Nguyễn Hữu Ninh 521

59. NGHIÊN CỨU VỀ TIỀM NĂNG SỬ DỤNG CÁT NGUỒN GỐC BIỂN TRONG GIẢI PHÁP CỘT VẬT LIỆU RỜI BỌC VẢI ĐỊA KỸ THUẬT GIA CƯỜNG CHỊU TẢI KHỐI ĐẮP TRÊN NỀN ĐẤT YẾU
Phạm Minh Tuấn, Lê Trần Thiên Phước, Võ Thanh Long, Tô Viết Nam 529

60. XÂY DỰNG BẢN ĐỒ QUẢN LÝ TÀI NGUYÊN MỎ CÁT TRÊN ĐỊA BÀN TỈNH ĐỒNG THÁP ỨNG DỤNG NỀN TẢNG GOOGLE MAPS
Trần Phương Duy, Nguyễn Thị Ngọc Hiền, Trần Quốc Kiệt, Nguyễn Ngọc Quy 537

61. ĐÁNH GIÁ ĐIỀU KIỆN ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH TỈNH CÀ MAU CŨ PHỤC VỤ THIẾT KẾ LẮP ĐẶT THÍ ĐIỂM HỆ THỐNG QUAN TRẮC SỤT LÚN ĐẤT
Dương Mạnh Hùng 548

62. KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG HỖN HỢP CÁT NHIỄM MẶN VÀ TRO BAY LÀM BÊ TÔNG MẶT ĐƯỜNG
Huỳnh Văn Hiệp, Trần Vũ Tịnh 560

63. TƯƠNG QUAN MÔ ĐUN E50 VỚI CƯỜNG ĐỘ KHÁNG NÉN MỘT TRỤC NỞ HÔNG (QU) CỦA ĐẤT BỀ MẶT Ở ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG ĐƯỢC CẢI TẠO BẰNG CHẤT KẾT DÍNH VÔ CƠ KẾT HỢP PHỤ GIA DHD
Lê Văn Hiệp, Nguyễn Đức Mạnh, Phạm Thái Bình, Nguyễn Công Định, Võ Minh Khoa ... 571

64. ĐÁNH GIÁ HIỆN TRẠNG, ĐIỀU KIỆN VÀ NGUYÊN NHÂN LÚN MẶT ĐẤT TẠI THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH, TP. CẦN THƠ, CÀ MAU (ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG)
Đào Hồng Hải, Nguyễn Việt Kỳ, Lâm Hoàng Quốc Việt, Phạm Xuân Đức 582

65. NGHIÊN CỨU SỰ ỔN ĐỊNH CỦA TƯỜNG CHẮN CÁC BỜ SÔNG KHI CHỊU TÁC ĐỘNG CỦA ÁP LỰC NƯỚC VÀ TẢI TRỌNG BỀ MẶT
Trần Tuấn Minh, Đặng Trung Thành, Nguyễn Duyên Phong 591

66. THE EFFECTS OF WATER ENVIRONMENT ON STABILITY OF RIVER BANKS - CASE STUDY IN THE MEKONG DELTA
Le Hoang, Le Thi Anh Hong, Le Gia Lam, Do Hung Thoi, Tran Le Gia Tan and Pham Van Cu 599

67. MỘT THỬ NGHIỆM KẾT CẤU MẶT ĐƯỜNG BẰNG BÊ TÔNG HẠT NHỎ SỬ DỤNG CÁT NHIỄM MẶN Ở KHU CÔNG NGHIỆP DUNG QUẤT
Lê Thu Trang, Thái Minh Quân, Nguyễn Thanh Sang 609

68. LẬP BẢN ĐỒ ĐỊA CHẤT PHƯỜNG TRÀ VINH, HÒA THUẬN, LONG ĐỨC, NGUYỆT HÓA THUỘC TỈNH VĨNH LONG (CŨ) PHỤC VỤ XÂY DỰNG HẠ TẦNG GIAO THÔNG
Châu Trường Linh, Huỳnh Hồng 616

69. XÂY DỰNG BẢN ĐỒ MÔ PHỎNG TÍNH DỄ BỊ TỔN THƯƠNG NGẬP LỤT Ở VIỆT NAM BẰNG THUẬT TOÁN HỌC MÁY TRONG GOOGLE EARTH ENGINE
Nguyễn Thị Nụ, Trần Thị Huyền Diệu 626

70. ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ CỦA VIỆC TRỒNG MẮM TRẮNG TRONG PHÒNG CHỐNG SẠT LỞ BỜ SÔNG TẠI XÃ LƯU NGHIỆP ANH, TỈNH VĨNH LONG
Huỳnh Hữu Trí, Ngô Gia Truyền, Nguyễn Thành Công, Huỳnh Văn Hiệp 634

71. NGHIÊN CỨU MỘT SỐ NỘI DUNG THIẾT KẾ VÀ CÔNG NGHỆ THI CÔNG CỌC ĐÁ DĂM GIA CỐ NỀN - KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG TRONG GIA CỐ NỀN ĐƯỜNG Ô TÔ KHU VỰC ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG
Phạm Văn Hùng, Trần Phú Thanh 642

72. ĐỀ XUẤT CHIỀU DÀI CỌC BÊ TÔNG CỐT THÉP TIẾT DIỆN NHỎ PHÙ HỢP VỚI CẤP TẢI TRỌNG CỦA NHÀ THẤP TẦNG TRONG ĐIỀU KIỆN ĐỊA CHẤT XÃ TRUNG THÀNH, TỈNH VĨNH LONG
Lâm Ngọc Quí, Lê Trọng Nhân 651

73. NGHIÊN CỨU SỰ BIẾN ĐỔI MỘT SỐ ĐẶC TRƯNG CƠ LÝ CỦA ĐẤT YẾU KHU VỰC ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG
Vũ Anh Tuấn, Phạm Thái Bình, Nguyễn Đức Mạnh, Vũ Bách Tuấn 660

74. BIẾN DẠNG NỀN ĐƯỜNG GIA CỐ BẰNG CỌC XI MĂNG – ĐẤT CHỊU HOẠT TẢI THEO TIÊU CHUẨN TRONG ĐIỀU KIỆN ĐỊA CHẤT ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG
Phạm Hữu Hà Giang, Đặng Tấn Đảm, Nguyễn Trường Phát, Phạm Minh Triết 669

75. NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG MÔ HÌNH CẤU TRÚC HỆ THỐNG TẦNG CHỨA NƯỚC VÙNG ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG ỨNG DỤNG PHẦN MỀM ROCKWORK17
Phạm Thị Việt Nga, Dương Văn Bình 679

KỶ YẾU HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC
VIETGEO 2025

TRƯỜNG ĐẠI HỌC TRÀ VINH

NGÀY 24 & 25 THÁNG 10 NĂM 2025

CHỦ ĐỀ I

ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH VÀ ĐỊA KỸ THUẬT

PHÁT HIỆN SẠT LỞ ĐẤT DỰA TRÊN KỸ THUẬT HỌC SÂU

Nguyễn Kim Cường[1,*], Kei Kawamura[2] , Nguyễn Trung Kiên[3]

[1]Nhóm nghiên cứu ATMD, Khoa Hạ Tầng Kỹ thuật - Công nghệ, Trường Đại học Xây dựng Miền Trung

[2]Trường sau đại học đổi mới khoa học công nghệ, Đại học Yamaguchi, Nhật Bản

[3]Trường Đại học Thủy Lợi

**Tác giả liên hệ: Email: nguyenkimcuong@muce.edu.vn*

Tóm tắt

Địa hình Việt Nam có nhiều đồi núi thường xảy ra hiện tượng sạt lở đất đã gây hậu quả vô cùng nghiêm trọng về tính mạng và tài sản con người như ở Đèo Bảo Lộc Lâm Đồng, tại Rào Trăng, huyện Phong Điền, tỉnh Thừa Thiên Huế, hay tại xã Trà Lèn, huyện Trà My, tỉnh Quảng Nam. Do đó việc phát hiện và cảnh báo sớm nguy cơ sạt lở đất là cần thiết thiết để kịp thời cảnh báo người dân sống khu vực xung quanh sạt lở, nhanh chóng di dời tài sản và con người đến vị trí an toàn mới. Trong bài báo này, nhóm tác giả sử dụng những hình ảnh thu thập được từ vệ tinh ở Nhật Bản có địa hình tương tự Việt Nam làm cơ sở dữ liệu để huấn luyện phát hiện sớm vết đứt gãy, sạt lở dựa trên cấu trúc mạng UNET của kỹ thuật học sâu (CNN) để phát hiện tự động sạt lở đất. Mô hình học sâu sau khi được điều chỉnh các tham số tối ưu nhờ thuật toán Adam và các mô hình học nhúng khác để lựa chọn mô hình chuẩn, sau đó mô hình được đánh giá độ chính xác thông qua các phép đo F_1, $F_{0,5}$, $F_{2,3}$.

Từ khóa: Ảnh độ phân giải cao, Kỹ thuật học sâu, Mạng Unet, Sạt lở đất.

1. Đặt vấn đề

Việt Nam có khí hậu nhiệt đới, mưa nhiều độ ẩm cao. Địa hình đồi núi sườn dốc ở một số tỉnh miền núi chưa được coi trọng gia cố tăng cường. Do đó thường vào mùa mưa bắt đầu từ tháng 9 kéo dài đến tháng 12, gây ra các hiện tượng sạt lở đất, đá bong tróc lăn xuống sườn đồi nguy hiểm dễ gây ra tai nạn giao thông, thiệt hại đến tính mạng và tài sản của người tham gia giao thông, cũng như khu dân cư sinh sống quanh khu vực đó. Điển hình là vào ngày 28 tháng 10 năm 2020 vụ sạt lở đất xã Trà Lèn, huyện Trà My, tỉnh Quảng Nam làm cho 14 người chết, 13 người mất tích và 46 người sống sót bị thương. Tại Rào Trăng, huyện Phong Điền, tỉnh Thừa Thiên Huế ngày 10, rạng sáng 11/10/2020, tại khu nhà điều hành thủy điện Rào Trăng 3 đã xảy ra vụ sạt lở đất nghiêm trọng khiến 17 công nhân thủy điện bị vùi lấp. Tiếp đó, tới ngày 30/7/2020, một vụ sạt lở đất nghiêm trọng khác đã xảy ra tại Trạm Cảnh sát giao thông Mađagui, nằm giữa đèo Bảo Lộc, tỉnh Lâm Đồng vào chiều 30/7, làm 3 cán bộ, chiến sĩ cảnh sát giao thông Lâm Đồng hy sinh và 1 người nguyên chiến sĩ nghĩa vụ Công an nhân dân tử nạn. Theo đánh giá của các chuyên gia, vụ sạt lở đất tại đèo Bảo Lộc, lượng mưa, 24 giờ trước đó 232 mm.

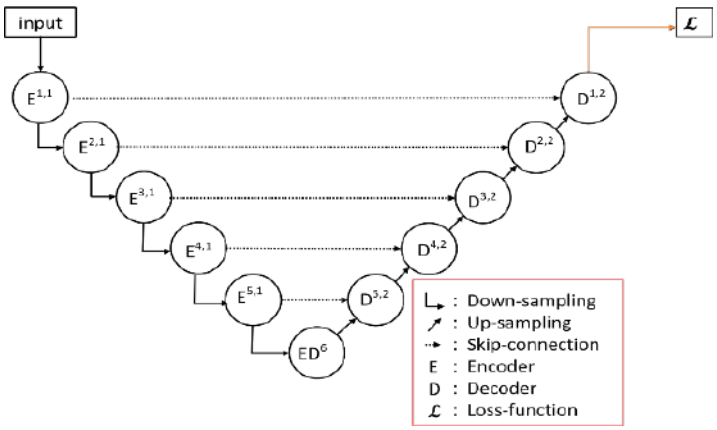
Do đó việc cảnh báo sớm thiên tại sạt lở đất, đá tại một số tỉnh/thành phố miền núi Tây Nguyên và các tỉnh phía Bắc ở Việt Nam, rất nghiêm trọng và cấp bách để giảm thiểu thiên tai, đảm bảo an sinh và an toàn giao thông. Trên thế giới và ở Việt Nam hiện nay cũng có nhiều nghiên cứu về phân tích ảnh vệ tinh, để chẩn đoán rủi ro có nguy cơ sạt lở đất. Mohan và nnk (2021), Li và nnk. (2022) sử dụng phương pháp phân tích vệ tinh ảnh và kỹ thuật học sâu trích xuất vết sạt lở dựa trên việc khảo sát, phân tích ảnh của phương pháp remote sensing (Funakoshi và nnk., 2020). Phương pháp này cũng có thể kết hợp với phương pháp truyền thống kiểm tra bằng mắt thường dựa trên sự thay đổi của từng Pixel. Độ chính xác của phương pháp này thường rất cao, tuy nhiên mất rất nhiều thời gian, năng lượng tính toán, chi phí nhân công. Funakoshi và nnk. so sánh sử dụng kỹ thuật học sâu với pix2pix (Chen và nnk., 2018) trích xuất sự dịch chuyển của trầm tích trên nền ảnh về tinh khi so sánh ảnh trước và sau khi có sự di chuyển vùng ảnh được khảo sát. Kết quả kết hợp từ 2 phương pháp trên cải thiện đáng kể mức độ nhận dạng lỗi từ 12.9% đến 32.5%.

Chen và nnk (2018) đệ trình Deeplabv3+ cho việc phân đoạn ảnh dựa trên mã hóa và giải mã và so sánh nó với cấu trúc ResNet 38, PSPNet, and DeepLabv3. Kết quả khẳng định rằng việc sử dụng Deeplabv3+ có hiệu suất tốt hơn hẳn. Mapo và nnk. sử dụng kiến trúc Unet một convolution autoencoder (CAE) để tăng cường giữ lại các thông tin chi tiết của các đặc trưng trong việc đánh giá vùng phá hoại trầm tích. Ishii và nnk. (2020) sự thực hiện mạng cấu trúc Unet để phát triển hệ thống tự động cho việc nhận dạng cảnh báo sạt lở. Trong nghiên cứu này chúng tôi áp dụng mạng cấu trúc Unet để nhận dạng sạt lở dựa trên các hình ảnh thu thập được từ ảnh vệ tinh.

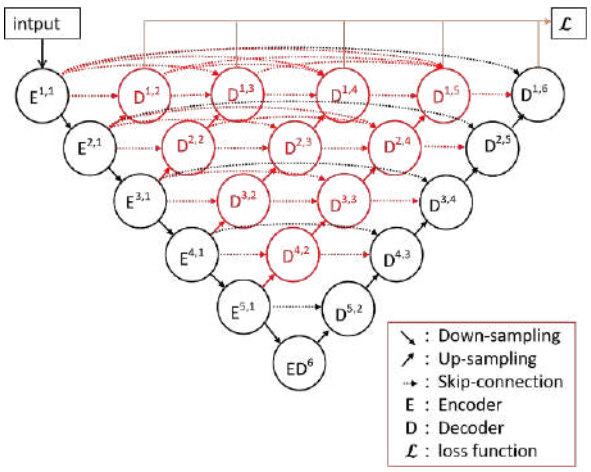
2. Cơ sở lý thuyết về mạng Unet

2.1 Cấu trúc mạng Unet

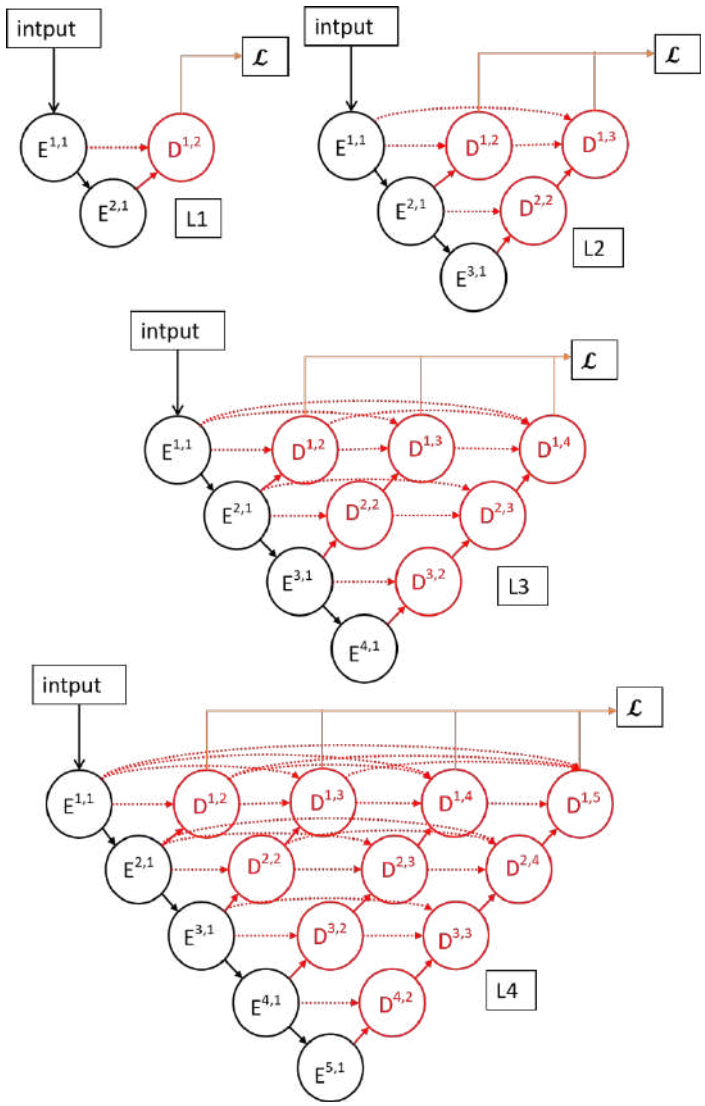
Hình 1 trình bày cấu trúc mạng Unet. Trong tiến trình học của Unet, thì Encoder $E_{1,1}$ học các đặc trưng cục bộ và tạo ra các đặc trưng 1 (feature) bằng cách thực hiện phép tích chập trên hình ảnh nhập vào có kích thước 224x224 pixels với lớp tích chập tương ứng. Tiến trình này bao gồm 2 giai đoạn: giai đoạn "a" là sự kết hợp nút D2,2 với nút E2,1 trở thành đầu vào của nút D1,2. Giai đoạn "b" là giai đoạn Maxpooling nén một nữa theo phương dọc và ngang của bản đồ đặc trưng 1 trở thành đầu vào của nút E2,1 cũng là nút mã hóa giai đoạn tiếp theo. Quá trình này giúp cho mô hình học có khả năng bắt được những cái đặc trưng của hình ảnh đầu vào trong khi xử lý sự dịch chuyển và biến dạng của các điểm đặc trưng. Trong đó Input: là các hình ảnh vệ tinh đầu vào, Ei, j: là tiến trình mã hóa lớp i, của biến đầu vào thứ j. Mỗi nút mã hóa bao gồm các bước: 2 lớp tích chập (Convolution (32,3)), hàm kích hoạt (activate function) là hàm RELU, Maxpooling (2,2); Padding=1. Hơn nữa trong bước kết nối bao gồm một phép khuếch đại, 2 phép tích chập với kích thước bộ lọc (32,3), một phép tích chập (1,1) hàm kích hoạt là hàm "Sigmoid".



Hình 1. Cấu trúc mạng Unet



Hình 2. Cấu trúc mạng Unet cải tiến



Hình 3. Trình tự cải tiến mạng Unet

2.2 Cấu trúc mạng Unet cải tiến (Unet ++)

Hình 2 thể hiện cấu trúc học sâu của mạng Unet cải tiến, phần màu đỏ là sự bổ sung khác với với mạng Unet truyền thống. Trong mạng Unet cải tiến, nhiều lớp mã hóa trực tiếp được thêm vào cho 4 nhánh và mỗi nhánh trước khi kết nối với đầu ra thì thông qua hàm mất mát để tính lọc tương ứng từ (L1 đến L4).

Hình 3 thể hiện chi tiết phân cụm của từng giai đoạn của mô hình Unet cải tiến. Trong từng nhánh cũng sẽ trích xuất các dịch chuyển vết sạt lở từ D1 đến D6 của mỗi nhánh. Trong suốt quá trình học, 4 nhánh sẽ đều tính đến lỗi (so với hình ảnh thực) sau đó lấy giá trị trung bình cho nút D1,6. Sử dụng giá trị lỗi trung bình này, Mạng cấu trúc Unet sẽ cải tiến các tham số của nút mã hóa (E) trong suốt quá trình huấn luyện.

Hơn nữa, các bước kết nối giữa nút mã hóa (E) và giải mã (D) trong các lớp trở thành đường dẫn trong lan truyền ngược, từ đó mà tiến trình cập nhật sửa lỗi được cải tiến. Trong tiến trình mô hình huấn luyện, bản đồ các đặc trưng trong mỗi giai đoạn của tiến trình (downsampling) cũng được sử dụng để phát hiện sạt lở và từ đó có thể duy trì được các thông tin chi tiết của vết sạt lở không bị mất như trong mô hình huấn luyện dùng cấu trúc mạng Unet.

3. Kết quả thí nghiệm

Bảng 1. thể hiện các tham số thí nghiệm. Các hình ảnh được chụp địa hình tại khu vực Hiroshima, Nhật Bản theo hướng Bắc-Nam. Các hình ảnh này được chụp từ ngày 9 đến ngày 11

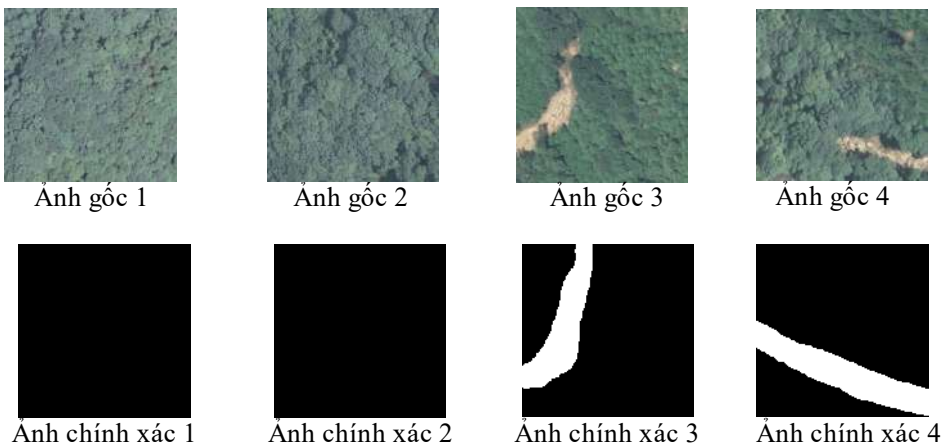
tháng 7 năm 2018, những ngày này trời mưa lớn ở phía tây Nhật Bản. Những hình ảnh này thuộc bản quyền của cơ quan thông tin không gian địa lý của Nhật Bản. Những hình ảnh này được sử dụng làm thí nghiệm với độ phân giải cao. Diện tích vùng ảnh vệ tinh là 36 km x 22.4 km về phía Đông-Tây được sử dụng như các mẫu ảnh thẩm tra.

Bảng 1. *Các thông số thí nghiệm 1*

Cấu trúc Mạng	UNet		UNet++	
Kích thước ảnh huấn luyện	224*224 (pixels)			
Phép đo hiệu suất	$F_{0.5}$	F_1	F_2	F_3
Số dữ liệu huấn luyện	7408 cặp			
Số dữ liệu kiểm tra	1856			
Số lần huấn luyện (Epoch)	100 vòng		300 vòng	
Kích thước Batch	16			
Phương pháp tối ưu	Adam (tỷ lệ học = 0.00001)			

Những hình ảnh nhãn dùng để training (Teaching images) được xử lý từ ảnh vệ tinh với độ phân giải cao nó cũng được cung cấp từ viện thông tin địa lý của Nhật Bản.

Hơn nữa, nhóm tác giả sử dụng kết quả phân tích sự dịch chuyển của sạt lở trong nghiên cứu trước, làm bộ dữ liệu để huấn luyện, thẩm định và kiểm tra kết quả của mô hình thí nghiệm. Bộ dữ liệu này được trích xuất xuống một cách trực quan ngay sau khi thảm họa ở Hiroshimazaka (từ ngày 9 đến ngày 11 tháng 7 năm 2018) do quá trình sạt trước ở độ dốc lớn. Bộ dữ liệu bao gồm nhiều hình ảnh khách quan khác nhau như vùng bồi lắng, vùng có dòng chảy, vùng trầm tích, vùng chuyển tiếp.

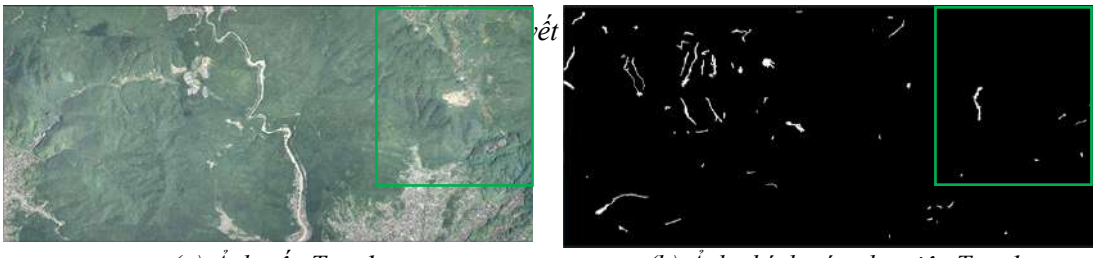


a) Ví dụ các mẫu training không có đứt gãy, sạt lở ; b) Ví dụ các mẫu có đứt gãy

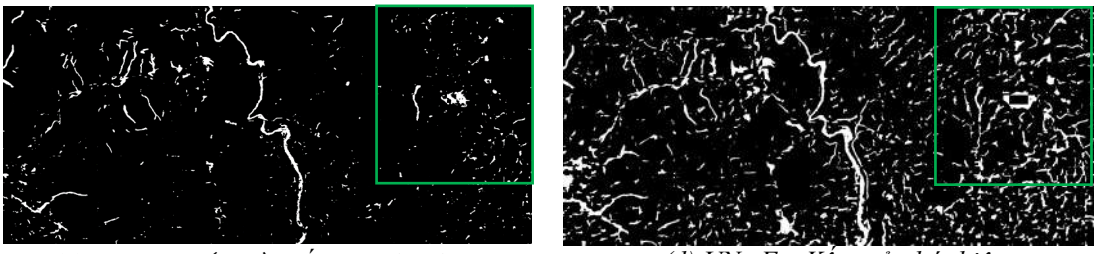
Hình 4. trong tập dữ liệu dùng để xây dựng mô hình

3.1 Phương pháp thí nghiệm

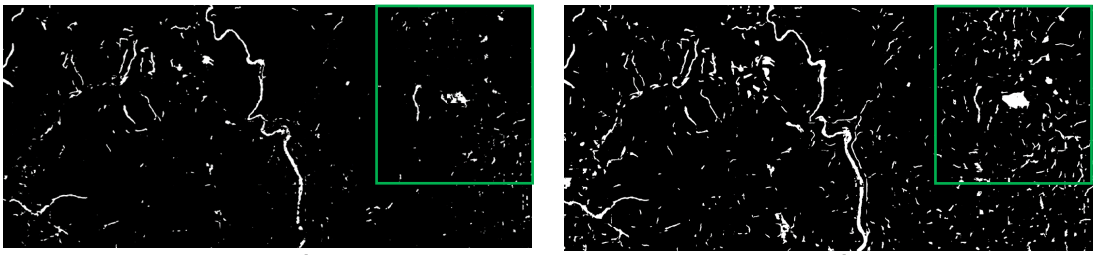
Để tạo dữ liệu huấn luyện, chúng tôi đã chọn 12 cặp hình ảnh kết quả giải thích tương ứng (sau đây gọi là hình ảnh chính xác) từ các khu vực được hiển thị trong Hình 5 (12.560 × 6.087 pixel) với một lượng lớn trầm tích được chia thành các ảnh có kích thước 224 × 224 pixel. Ngoài ra, các vùng còn lại sau khi chia được sử dụng cho việc huấn luyện mô hình. Độ phân giải hình ảnh là khoảng 0,59m mỗi pixel. Trong vùng của hình ảnh được chia, một hình ảnh có 5% đất và cát trở lên trong hình ảnh chính xác được xác định là hình ảnh có đất và cát, ngược lại ảnh có 5% đất và cát trở xuống được xác định như ảnh không có đất và cát. Hình ảnh được sử dụng làm dữ liệu huấn luyện. Cụ thể, có 2316 cặp đã được chọn làm dữ liệu huấn luyện trong thí nghiệm này.



(a) Ảnh gốc Test 1 (b) Ảnh chính xác cho việc Test 1



(c) UNet++ ($F_{0.5}$) Kết quả phát hiện (d) UNet$F_{0.5}$ Kết quả phát hiện



(e) UNet++ (F_1) Kết quả phát hiện (f) UNet (F_1) Kết quả phát hiện

Hình 5 cho thấy các ví dụ về dữ liệu có đất và cát và không có đất và cát. Hình 5(b) là một ví dụ về dữ liệu với đất và cát. Nhìn vào hình ảnh chồng lên của bức ảnh chụp từ trên không và hình ảnh chính xác, người phiên dịch tạo ra hình ảnh chính xác cho thấy ngay cả những nơi đất và cát không lộ ra ngoài cũng được trích xuất thành. Điều này là do người phiên dịch xem xét tính liên tục của chuyển động trầm tích từ thông tin địa hình như thung lũng và sông, đồng thời giải thích các khu vực nơi trầm tích bị cây che khuất là trầm tích. Hơn nữa, để tăng lượng dữ liệu cho việc huấn luyện, chúng tôi đã xoay dữ liệu "với đất và cát" và hình ảnh chính xác tương ứng ba lần sang phải theo góc 90^0, 180^0 và 270^0, đồng thời tăng dịch chuyển làm dữ liệu tăng lên đáng kể. Tổng số tập dữ liệu huấn luyện cuối cùng thu được từ công việc trên là 9.264 cặp. Trong số này, khoảng 80% (7.408 cặp) được sử dụng làm dữ liệu huấn luyện và 20% còn lại (1.856 cặp) được sử dụng làm dữ liệu xác thực. Ở đây, dữ liệu huấn luyện là tập dữ liệu dùng cho mục đích học tính toán sai số giữa dữ liệu đầu vào và dữ liệu chính xác với mục đích cập nhật các trọng số, còn dữ liệu xác thực là đánh giá tình huống học tập không dùng để cập nhật các tham số của mô hình.

Tập dữ liệu này được sử dụng để xác định các trọng số được sử dụng trong bộ phân loại nhằm mục đích nhập tập dữ liệu được tạo ở trên vào mạng học sâu (deep learning) và thực hiện việc huấn luyện (Training). Việc hoàn thành một lần huấn luyện toàn bộ tập dữ liệu được gọi là một chu kỳ (epoch). Vào cuối mỗi chu kỳ, chúng tôi lưu các trọng số đã học và tính toán hàm lỗi với bộ dữ liệu huấn luyện và xác thực để tìm ra độ chính xác xác thực sau khi học, trọng số của số chu kỳ có độ chính xác của việc xác thực cao nhất sẽ được sử dụng cho bộ phân loại từ tập dữ liệu xác minh.

Bảng 2. *Kết quả phép đo thí nghiệm*

F_β	Mô hình	Test 1			Test 2		
		Recall	Precision	F-score	Recall	Precision	F-score
$F_{0.5}$	UNet++	0.65	0.40	0.50	0.76	0.36	0.49
	UNet	0.81	0.16	0.28	0.90	0.16	0.27

3.2 Phép đo hiệu suất mô hình

$$F_\beta = (1+\beta^2)\frac{\text{recall}*\text{precision}}{\beta^2*recall+precision} \quad (1)$$

$$(Recall) = \frac{\text{TP}}{\text{TP+FN}} \quad (2)$$

$$(Precision) = \frac{\text{TP}}{\text{TP+FP}} \quad (3)$$

$$F_1 = 2\frac{recall.precision}{recall + precision} \quad (4)$$

Bảng 3. *Định nghĩa các tham số TP, TN, FN, FP*

Hình ảnh dự đoán	Hình ảnh thật	
	Có sạt lở	Không sạt lở
Có sạt lở	TP	FP
Không sạt lở	FN	TN

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã đệ trình một cấu trúc mạng Unet cải tiến với mục đích phát hiện các lỗi mà mạng Unet không phát hiện được. Từ kết quả thí nghiệm, đã chứng minh rằng, bộ phát hiện sạt lở đất tự động nhờ Unet cảu tiến có hiệu suất cải thiện đáng kể khi so sánh hệ số F với mạng Unet truyền thống. Hơn nữa cho thấy sự cân bằng các phép đo Recall và Precesion khi thay đổi hệ số b trong hàm đánh giá mất mát của 4 mẫu Test. Tuy nhiên có sự đối nghịch giữa Reacall và Precision. Nếu bạn muốn tăng Recall thì precision giảm. Do đó rất khó trong việc tạo bộ phân loại tự động hoàn toàn hoàn hảo.

Tài liệu tham khảo

Chen L. C. and Zhu, Y. K., 2018. Encoder-Decoder with Atrous Separable Convolution for Semantic Image Segmentation.

Mohan Amrita and Amit Kumar Singh., 2021. "Review on Remote Sensing Methods for Landslide Detection Using Machine and Deep Learning." Transactions on Emerging Telecommunications Technologies 32 (7).

Funakoshi, K. and Kakuta, S., 2020, A study on a method for detecting landslide areas automatically using constellation satellite optical images, Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering, Vol.73, No.2, pp.34-41.

Ishii, Hirokane, M., 2020. considering social factor in setting of sediment disaster warning area using deep learning, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. F6 (Safety Problem), Vol.74, No.2, pp. I_193-I_199.

Automatic lanslide detection based on deep learning and Artificial intelligent

Cuong Nguyen Kim[1], Kei Kawamura[2] , Nguyen Trung Kien[3]

[1]LAb ATMD, Mien Trung Univesity of Civil Engineering

[2]Post graduate school of Innovation science technology, Yamaguchi University, Japan

[3]Thuy Loi University

**Corresponding author: Email: nguyenkimcuong@muce.edu.vn*

Abstract

Vietnam's landscape is characterized by its extensive mountainous terrain and rolling hills, but it is also susceptible to a range of natural disasters, including landslides triggered by seismic

activity and heavy rainfall. At present, the assessment of landslide incidents heavily relies on manual visual analysis of post-disaster aerial photographs within the landslide disaster department. However, this method demands a prolonged period of meticulous examination by skilled experts, placing a substantial burden on the operators involved.To enhance the efficiency of this process, recent efforts have concentrated on leveraging deep learning techniques for the automated identification of sediment displacement areas using aerial imagery. Within this context, our research endeavors to enhance the precision of automatic sediment movement detection utilizing the UNet architecture. To achieve this, we have adopted the UNet++ framework as a classifier, known for its capability to mitigate erroneous identifications. This innovation holds the potential to significantly elevate the accuracy of sediment displacement detection, marking a promising advancement in this field.

***Keywords**:* High resolution image, Deep learning technique, Unet, land slide.

NGHIÊN CỨU CHẤT LƯỢNG CẤP PHỐI VỮA CHÈN LẤP VỎ HẦM TBM DỰ ÁN TUYẾN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ THÍ ĐIỂM THÀNH PHỐ HÀ NỘI, ĐOẠN NHỔN - GA HÀ NỘI

Nguyễn Thị Nụ[1*], Bùi Trường Sơn[1], Ngô Thị Thoan[2], Ngô Văn Luyện[2]

[1]Trường Đại học Mỏ - Địa chất

[2]Viện Nền móng và Công trình, Công ty Cổ phần Tư vấn Hạ tầng Golden Earth

**Tác giả liên hệ: Email: nguyenthinu@humg.edu.vn*

Tóm tắt

Vữa chèn lấp vỏ hầm được sử dụng trong thi công đào hầm bằng máy TBM với tác dụng gắn kết vỏ hầm với các lớp đất xung quanh hầm, đảm bảo độ ổn định cho công trình. Loại vữa được thiết kế theo cấp phối tối ưu, bao gồm xi măng, bentonite, nước, các chất ổn định stabilizer_ Basf và dung dịch Soduim silicate_Basf. Quy trình chế tạo vữa được thực hiện qua các bước trộn thử chặt chẽ, từ khâu chuẩn bị vật liệu tại phòng thí nghiệm đến trộn thử tại trạm trộn để đạt được cấp phối phù hợp. Sau khi trộn thử, các thông số kỹ thuật của vữa như độ nhớt ở 24 giờ, độ lắng ở 1h và 24h, tỷ trọng, thời gian ninh kết, cường độ kháng nén ở 1 giờ, 24 giờ và 28 ngày, độ co ngót và tách nước được xác định. Báo cáo trình bày kết quả nghiên cứu của tổ hợp trộn trong thời gian thi công khoảng 30 ngày. Kết quả đánh giá cho thấy, các mẻ trộn đều đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật, đảm bảo chất lượng vữa trong suốt quá trình thi công.

Từ khóa: Vữa chèn lấp, vỏ hầm TBM, cấp phối tối ưu.

1. Mở đầu

Sự phát triển của các thành phố kéo theo sự phát triển trong không gian, cả theo chiều sâu và hướng lên bầu trời. Việc sử dụng không gian ngầm trở lên ngày càng cần thiết để giải quyết tình trạng thiếu hụt không gian đô thị và tăng cường khả năng phục hồi đô thị. Để xây dựng các tuyến đường ngầm, nhiều biện pháp khác nhau có thể được áp dụng, trong đó thi công bằng máy khiên đào TBM là một phương pháp phổ biến hiện nay. Trong quá trình này, việc sử dụng vữa chèn lấp đóng vai trò là bắt buộc trong việc gia cố các kết cấu đường hầm, đảm bảo tính ổn định và độ bền của chúng. Vữa chèn lấp được bơm vào khoảng trống giữa các vỏ hầm và đất đá xung quanh, giúp ngăn ngừa các vấn đề kỹ thuật như lún đất và thấm nước.

Thuật ngữ "vữa" bắt nguồn từ tiếng Anh và đã phát triển từ đầu thế kỷ 19, với các thành phần ban đầu là đất sét và sau đó là xi măng. Năm 1930, vữa bắt đầu có độ nhớt thấp và thêm thành phần Natri silicat. Đến năm 1992, vữa xi măng/ bentonite bắt đầu được sử dụng trong các lĩnh vực khác nhau. Đặc biệt, vữa sử dụng cho đường hầm đã được áp dụng từ năm 1880 tại đường hầm Maret ở Pháp (Littlejohn, 2003). Tuy nhiên, trong nhiều trường hợp phức tạp như hang động chứa nước bịt kín, vữa xi măng không phải lúc nào cũng thích hợp (Wei và nnk, 2017) và do đó, vữa đã được cải thiện bằng cách đưa thêm chất phụ gia.

Công nghệ đào hầm bằng công nghệ TBM (Jiang, 2023) được phát triển bởi kỹ sư người Pháp Marc Isambard Brunel vào đầu thế kỷ 19 tại London, đã trở thành phương pháp chủ đạo ở nhiều quốc gia như Nhật Bản, Hoa Kỳ và Trung Quốc, đặc biệt là ở các khu vực có đất mềm. Ưu điểm của phương pháp này bao gồm thi công nhanh, ít gián đoạn và khả năng tự động hóa cao. Trong quá trình thi công, khoảng hở giữa ở hầm và lớp xung quanh phải được lấp đầy liên tục và đồng bộ bằng vữa (Han và nnk, 2023) để tránh hiện tượng lớp lót bị dịch chuyển dẫn đến hiện tượng lún bề mặt (trường hợp đường hầm nông) và lớp lót bị lệch (dẫn đến các vấn đề chống thấm sau đó). Khoảng hở này có thể lên tới vài cm (Thewes và nnk, 2009), vì vậy cần một lượng vật liệu rất lớn để đảm bảo quá trình lấp diễn ra đúng tiến độ (Ye và nnk, 2019; Wan và nnk, 2021). Nhiều loại vữa khác nhau đã được nghiên cứu và thử nghiệm để tạo nên vữa chèn lấp.

Vữa chèn lấp được sử dụng để lấp đầy khoảng trống giữa vỏ hầm và các phân đoạn hầm, là công nghệ then chốt trong thi công hầm TBM. Vữa này được sản xuất bằng cách trộn các thành phần như xi măng, bentonite, nước và natri silicat, tạo ra một loại gel nhanh chóng đông cứng. Việc sử dụng vữa san lấp giúp giảm thiểu các vấn đề địa kỹ thuật như sụt lún bề mặt, trôi đoạn, đồng thời cải thiện khả năng chịu tải và ổn định cho các phân đoạn đường hầm. Tính bền vững của vữa đã được nghiên cứ trong phòng thí nghiệm, và kết qủa cho thấy, hiệu quả của vữa có thể bị ảnh hưởng bởi yếu tố môi trường khô (Carmine và nnk, 2024).

Nội dung của báo cáo đề cập đến đặc tính của vật liệu chèn lấp được sử dụng trong thực tế khi đào hầm bằng công nghệ TBM tại tuyến dự án đường sắt đô thị thí điểm thành phố Hà Nội, đoạn Nhổn - Ga Hà Nội. Các đặc trưng về cấp phối vật liệu vữa, các tính chất kỹ thuật của vữa được thực hiện theo các tiêu chuẩn ASTM hiện hành, cùng với giá trị định lượng của các tính chất này.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1 Mẫu vật liệu

Vữa chèn lấp sử dụng trong nghiên cứu được thiết kế cấp phối bao gồm các thành phần: xi măng Bút Sơn PC40, sét bentonite (API 13A SEC 11 - Sure Fluids - Ấn Độ), nước, chất ổn định (Stabilizer - BASF AGA 255) và dung dịch natri silicat (Sodium Silicate - BASF AGA 370). Thành phần cấp phối chi tiết được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. *Thành phần cấp phối vữa chèn lấp*

TT	Loại vật liệu	Tỷ trọng, kg/m^3	Khối lượng, kg	Thể tích, m^3
1	Nước	1000	792	0.792
2	Xi măng Bút Sơn PC40	3100	318	0.103
3	BENTONITE API 13A SEC 11	2650	55	0.021
4	Stabilizer_ Basf AGA 255	1250	6	0.0048
5	Sodium silicate_ Basf AGA 370	1410	112.8	0.080
Tổng thể tích				1.0m^3

2.2 Phương pháp nghiên cứu

Sau khi thiết kế cấp phối, mẫu vữa chèn lấp được trộn và thí nghiệm trong phòng để đánh giá các đặc trưng kỹ thuật theo các tiêu chuẩn ASTM tương ứng, như sau:

+ Độ nhớt: Thí nghiệm được thực hiện theo tiêu chuẩn ASTM D6910M. Mẫu vữa được đổ vào phễu Marsh (kích thước dài 305 mm, rộng 152 mm, đường kính lỗ xả 51 mm), sau đó đo thời gian để chảy đầy đến vạch 946 ml nhằm xác định độ nhớt. Thí nghiệm được lặp lại để đảm bảo độ tin cậy.

Hình 1. Xác định độ nhớt của vữa

+ Tỷ trọng: Thí nghiệm được thực hiện theo tiêu chuẩn ASTM D4380. Mẫu vữa được cho vào đầy cốc và đặt lên thang cân bằng, sau đó đọc trực tiếp giá trị tỷ trọng từ thước đo.

Hình 2. Xác định tỷ trọng của vữa

+ *Xác định thời gian ninh kết*: Thí nghiệm được thực hiện theo tiêu chuẩn ASTM C403. Mẫu được đổ vào khuôn, dùng chùy chuẩn xuyên vào mẫu. Thời gian được ghi nhận khi chùy xuyên sâu 25 ± 2 mm trong khoảng 10 ± 2 giây. Mẫu được đánh giá đạt yêu cầu nếu thời gian nằm trong khoảng 7-12 giây.

+ *Xác định độ lắng, độ tách nước:* Thí nghiệm xác định độ lắng và độ tách nước theo ASTM C940 được thực hiện bằng cách đổ vữa vào xi lanh 1000 ml đến mốc 800 ml, sau đó theo dõi thể tích mẫu và lượng nước tách ra theo thời gian. Đo thể tích bề mặt vữa và lượng nước chảy ra mỗi 15 phút trong giờ đầu, sau đó mỗi giờ cho đến khi mẫu ổn định. Cuối cùng, tính độ lắng và độ tách nước dựa trên sự thay đổi thể tích theo công thức:

Tính toán độ lắng của vữa = $(V_g\text{-}V_1)/V_1.100\%$. Độ tách nước = $(V_2\text{-}V_1)/V_1.100\%$.

Trong đó V_1 - Thể tích ban đầu của mẫu; V_2 - thể tích mẫu tại thời điểm đọc, phía trên bề mặt nước; V_g- thể tích vữa tại thời điểm đọc, phía trên bề mặt mẫu vữa.

+ *Xác định độ co ngót*: Thí nghiệm xác định độ co ngót được thực hiện theo tiêu chuẩn ASTM C1038. Mẫu vữa được đúc trong khuôn có kích thước 25 × 25 × 160 mm, đổ làm hai lớp, mỗi lớp được nén chặt và gạt phẳng bề mặt. Sau khi đúc, mẫu được đặt trong tủ ẩm, giữ nguyên trong khuôn trong 22,5 ± 0,5 giờ, bề mặt tiếp xúc với không khí ẩm nhưng tránh để nước nhỏ giọt. Sau thời gian bảo dưỡng ban đầu, mẫu được tháo khuôn và ngâm trong nước có nhiệt độ duy trì ở 23,0 ± 2,0 °C trong ít nhất 30 phút trước khi đo chiều dài lần đầu. Tiếp theo, mẫu được bảo dưỡng trong nước vôi bão hòa trong tủ ẩm hoặc phòng bảo dưỡng ẩm, đảm bảo mực nước phủ mặt mẫu tối thiểu 5 mm và thay nước thường xuyên để giữ sạch. Sau 14 ngày, mẫu được đo lại chiều dài để tính toán sự thay đổi so với lần đo ban đầu, từ đó xác định độ co ngót của vật liệu. Mỗi tổ hợp thí nghiệm gồm 4 mẫu khác nhau để đảm bảo độ chính xác và lặp lại của kết quả.

Hình 3. Đúc mẫu vữa để xác định độ co ngót

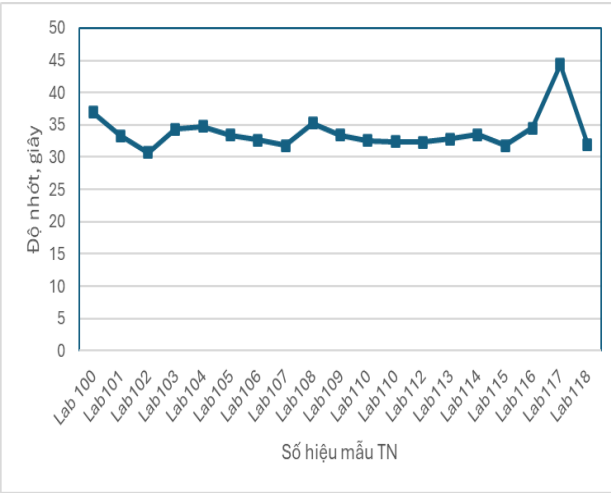
+ Xác định cường độ kháng nén ở 1 giờ, 24 giờ và 28 ngày tuổi: Thí nghiệm được thực hiện theo tiêu chuẩn ASTM C109 Mẫu vữa được đúc trong khuôn 50 × 50 × 50 mm, bảo dưỡng trong khuôn trong 20 giờ. Mẫu nén ở 1 giờ và 24 giờ không ngâm nước, trong khi mẫu 28 ngày được ngâm trong nước đến thời điểm thí nghiệm. Lực nén phá hủy mẫu được ghi nhận để tính cường độ nén, với tốc độ gia tải từ 900 đến 1800 N/s.

Các thí nghiệm được tiến hành tại phòng LAS XD 24.002 - Viện Nền móng và Công trình, thuộc Công ty Cổ phần Tư vấn Hạ tầng Golden Earth. Thời gian thực hiện trong khoảng từ tháng 12/2024 đến tháng 01/2025, với tổng cộng 19 tổ hợp mẫu được chế tạo và thí nghiệm theo các ca làm việc ngày và đêm, mô phỏng điều kiện thực tế khi thi công bằng công nghệ TBM tại hiện trường.

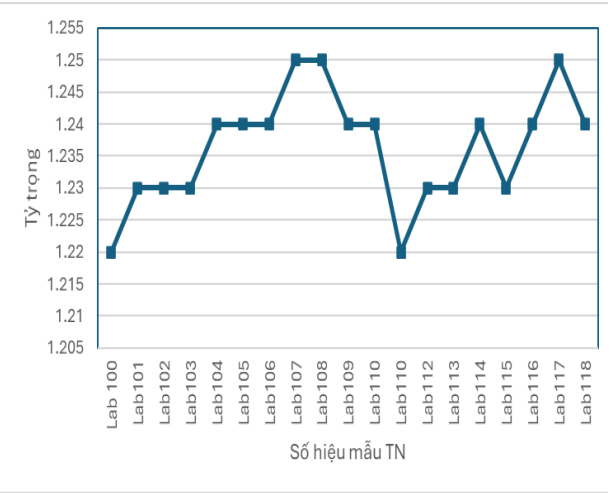
3. Kết quả và nhận xét

Kết quả thí nghiệm được thể hiện thông qua các chỉ tiêu đặc trưng của vữa chèn lấp gồm: độ nhớt (Hình 2), tỷ trọng (Hình 3), độ lắng sau trộn (Hình 4) và sau 1 giờ (Hình 5), thời gian ninh kết (Hình 6), cường độ kháng nén ở các mốc thời gian (Hình 7), cũng như mối tương quan giữa cường độ ở các ngày tuổi (Hình 8, 9).

Độ nhớt và tỷ trọng: Kết quả từ Hình 2 cho thấy giá trị đặc trưng về độ nhớt của vữa biến động trong phạm vi hẹp, với giá trị trung bình là 33,8 giây và dao động từ 30,69 đến 44,38 giây, hoàn toàn phù hợp với yêu cầu đặt ra của dự án là từ 30 đến 45 giây. Điều này cho thấy vữa có độ nhớt ổn định và đáp ứng yêu cầu về khả năng bơm và điền đầy khe hở, tương tự các nghiên cứu trước như của Zhang et al. (2018), nơi độ nhớt của vữa trong các thử nghiệm của họ dao động trong phạm vi tương tự (30-40 giây).



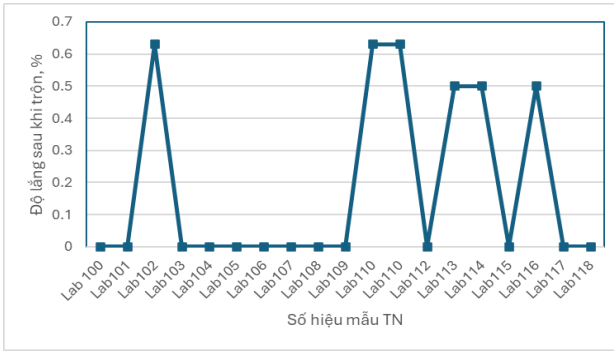
Hình 2. Độ nhớt của vữa, giây



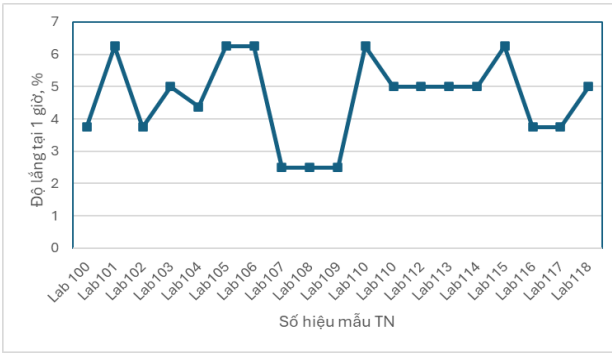
Hình 3. Tỷ trọng của vữa

Theo kết quả ở Hình 3, tỷ trọng của vữa dao động từ 1.22 đến 1.25, với giá trị trung bình là 1.24. Kết quả này hoàn toàn nằm trong phạm vi cho phép của dự án là từ 1.2 đến 1.4, đáp ứng yêu cầu về tính ổn định và khả năng duy trì thể tích của vữa sau khi thi công. Tỷ trọng vữa trong nghiên cứu này tương tự các nghiên cứu của Choi et al. (2021), trong đó tỷ trọng vữa xây dựng đạt từ 1.23 đến 1.28.

Độ lắng: Kết quả ở Hình 4 cho thấy độ lắng sau khi trộn rất nhỏ, với giá trị trung bình là 0.18% và dao động trong phạm vi từ 0 đến 0.63%. Kết quả này thỏa mãn yêu cầu rằng độ lắng của dự án phải dưới 3%. Đây là một chỉ số cho thấy vữa có khả năng ổn định sau khi trộn, tương tự như trong nghiên cứu của Singh và Patra (2018), trong đó độ lắng của vữa sau trộn cũng được kiểm soát tốt dưới 1%.

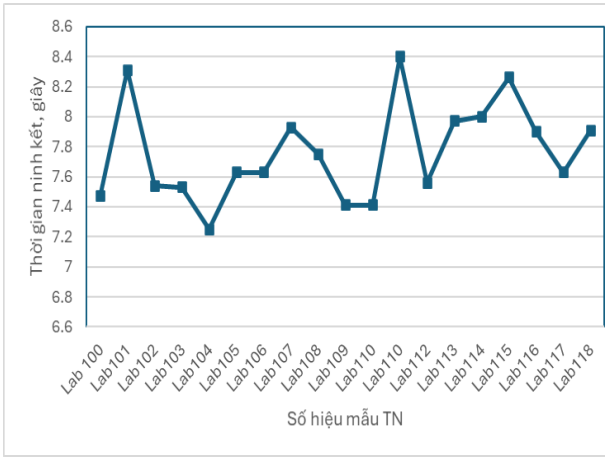


Hình 4. Độ lắng sau khi trộn,%

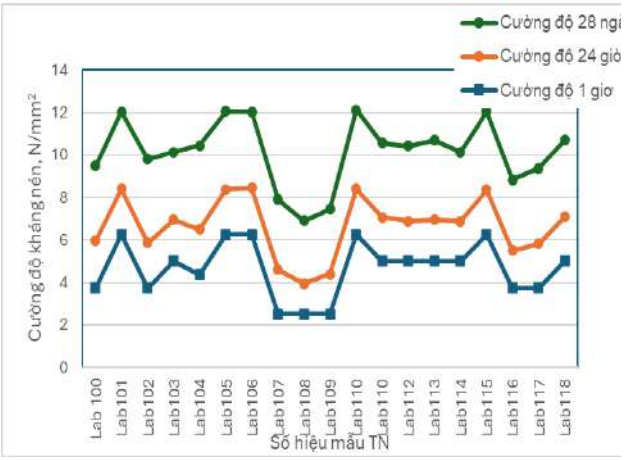


Hình 5. Độ lắng 1 giờ,%

Từ kết quả ở Hình 5, độ lắng sau 1 giờ dao động từ 2.5% đến 6.25%, với giá trị trung bình là 4.64%, thấp hơn so với giới hạn cho phép của dự án là 10%. Điều này chứng tỏ vữa vẫn duy trì độ ổn định thể tích trong khoảng thời gian ngắn sau khi thi công.



Hình 6. Thời gian ninh kết, giây



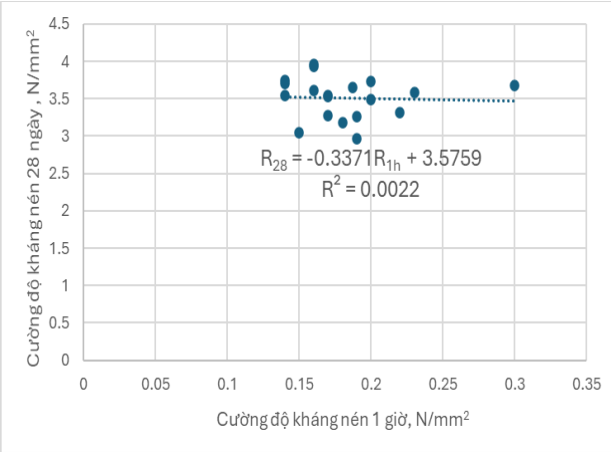
Hình 7. Cường độ kháng nén ở 1 giờ 24 giờ và 28 ngày tuổi

Thời gian ninh kết: Thời gian ninh kết của vữa, theo kết quả từ Hình 6, có giá trị trung bình là 7.76 giây và dao động từ 7.25 giây đến 8.40 giây. Thời gian ninh kết này hoàn toàn đáp ứng yêu cầu của dự án là từ 7 đến 12 giây, phù hợp với các nghiên cứu trước như của Kim et al. (2020), trong đó thời gian ninh kết của vữa cũng nằm trong khoảng này.

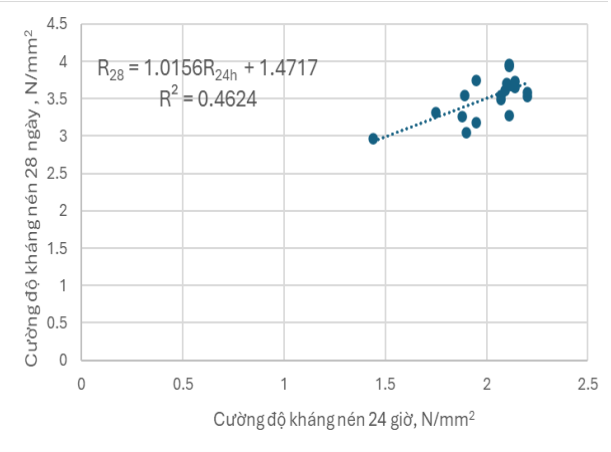
Cường độ kháng nén: Cường độ kháng nén của vữa tại 1 giờ đạt giá trị trung bình là 0.18 N/mm² và dao động trong phạm vi từ 0.14 đến 0.3 N/mm², đáp ứng yêu cầu tối thiểu của dự án là 0.1 N/mm². Cường độ kháng nén tại 24 giờ có giá trị trung bình là 2.01 N/mm², dao động từ 1.44 đến 22 N/mm², vượt qua yêu cầu tối thiểu là 0.7 N/mm². Tương tự, tại 28 ngày tuổi, cường độ kháng nén của vữa đạt giá trị trung bình là 3.51 N/mm² và dao động trong phạm vi từ 2.96 đến 3.96 N/mm², vượt mức tối thiểu là 2 N/mm². Các giá trị cường độ kháng nén này phù hợp với các nghiên cứu như của Choi et al. (2021), trong đó cường độ của vữa đạt mức lớn hơn 2 N/mm² sau 24 giờ.

Mối tương quan cường độ kháng nén giữa các thời điểm: Giá trị cường độ kháng nén tại 1 giờ chiếm khoảng 3.7% đến 8.2% so với cường độ tại 28 ngày, trong khi cường độ tại 24 giờ chiếm 48.6% đến 64.3% so với cường độ tại 28 ngày. Mối tương quan giữa cường độ kháng nén ở các ngày tuổi được thể hiện trong Hình 8 và 9. Theo kết quả ở Hình 8, cường độ kháng nén ở 1 giờ và 28 ngày tuổi không có mối quan hệ chặt chẽ. Tuy nhiên, theo kết quả ở Hình 9, cường độ kháng nén ở 24 giờ và 28 ngày tuổi có mối quan hệ, mặc dù mức độ tương quan không quá mạnh ($R^2 = 0.464$). Kết quả tương tự cũng đã được ghi nhận trong một số nghiên cứu trước đây (Choi và nnk, 2021; Kim và nnk, 2020), khi cường độ ở tuổi sớm thường phát triển nhanh nhưng không tuân theo quan hệ tuyến tính. Nguyên nhân có thể giải thích là do ở giai đoạn đầu (1 giờ và 24 giờ), sự phát

triển cường độ chịu ảnh hưởng mạnh bởi phụ gia, phản ứng thủy hóa ban đầu và điều kiện bảo dưỡng; trong khi ở tuổi 28 ngày, cường độ kháng nén chủ yếu phụ thuộc vào quá trình thủy hóa xi măng dài hạn. Sự khác biệt này dẫn đến việc mối quan hệ giữa cường độ ở tuổi sớm và cường độ dài hạn không chặt chẽ.



Hình 8. Mối quan hệ giữa cường độ kháng nén 1 giờ và 28 ngày tuổi



Hình 9. Mối quan hệ giữa cường độ kháng nén 24 giờ và 28 ngày tuổi

Độ co ngót: Độ co ngót của vữa ở 14 ngày tuổi dao động từ 0.07% đến 0.18%, thấp hơn rất nhiều so với giới hạn cho phép là 6%. Đây là một chỉ số quan trọng phản ánh khả năng duy trì ổn định thể tích của vữa theo thời gian, một yếu tố quan trọng khi sử dụng vữa trong các công trình cần tính bền vững lâu dài.

4. Kết luận

Từ kết quả nghiên cứu cho thấy, vữa chèn lấp có thành phần gồm xi măng, bentonite, nước, các chất ổn định (stabilizer_BASF) và dung dịch natri silicat (Sodium silicate_BASF) theo tỷ lệ hợp lý. Hỗn hợp được trộn trong thời gian quy định, mẫu được chuẩn bị và thí nghiệm tuân thủ đúng các tiêu chuẩn kỹ thuật hiện hành. Kết quả các chỉ tiêu cơ lý như độ nhớt sau 24 giờ, độ lắng tại thời điểm 1 giờ và 24 giờ, tỷ trọng, thời gian ninh kết, cường độ kháng nén tại 1 giờ, 24 giờ và 7 ngày, độ co ngót và hiện tượng tách nước đều đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật theo quy định.

Các cấp phối vữa chèn lấp được nghiên cứu đều đạt chất lượng, đảm bảo độ ổn định và khả năng chống lại các vấn đề địa kỹ thuật như sụt lún mặt đất, thấm nước, và các hiện tượng bất lợi khác trong điều kiện thi công hầm bằng công nghệ TBM.

Tài liệu tham khảo

Jiang, X., Zhu, H., Yan, Z., Zhang, F., Ye, F., Li, P., Zhang, X., Dai, Z., Bai, Y., Huang, B., 2023. A state-of-art review on development and progress of backfill grouting materials for shield tunneling. Developments in the Built Environment, 16.

Littlejohn, S, 2003. The development of practice in permeation and compensation grouting: a historical review (1802-2002): Part 1 permeation grouting Grouting and Ground Treatment, American Society of Civil Engineers, Reston, pp. 50-99.

Littlejohn, S., 2003. The development of practice in permeation and compensation grouting: a historical review (1802-2002): Part 2 compensation grouting. Grouting and Ground Treatment, American Society of Civil Engineers, Reston, pp. 100-144.

Wei, X., Liu, X., Duan, Y., Feng, J., 2017. Property transformation of a modified sulfoaluminate grouting material under pressure circulation for a water-sealed underground oil cavern. *Construct. Build. Mater.*, 140, pp. 210-220.

Todaro, C., Carigi, A., Peila, D., 2024. Durability of Two-Component Grout in Tunneling Applications: A Laboratory Test Campaign. Geosciences.

Han, X., Oreste, P., Ye, F, 2023. The buoyancy of the tunnel segmental lining in the surrounding filling material and its effects on the concrete stress state. *Geotech. Geol. Eng, 41*, 741-758.

Thewes, M., Budach, C., 2009. Grouting of the annular gap in shield tunneling—An important factor for minimisation of settlements and production performance. In Proceedings of the ITA-AITES World Tunnel Congress, Budapest, Hungary, 23-28 May 2009

Ye, F.; Yang, T.; Mao, J.H.; Qin, X.Z.; Zhao, 2019. R.L. Half-spherical surface diffusion model of shield tunnel back-fill grouting based on infiltration effect. *Tunn. Undergr. Space Technol, 83*, 274-281.

Wan, Y., Zhu, Z., Song, L., Song, S.,Zhang, J., Gu, X.; Xu, X, 2021. Study on temporary filling material of synchronous grouting in the middle of shield. *Constr. Build. Mater, 273*, 121681.

Zhang, Q., Wang, H., Liu, R., Li, S., Zhang, L., & Zhu, G., 2018. Permeation grouting mechanism of porous medium considering diffusion paths of grout. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 40*(5), 918-924. Frontiers.

Choi, Y., Lee, H., Kim, J., 2021. Effects of cementitious grout components on rheological properties. *Construction and Building Materials, 246*, 118534. ScienceDirect.

Singh, D. N., Patra, N. R., 2018. Investigation on influence of tail void grouting on the surface settlements during shield tunneling using a stress-pore pressure coupled analysis. *Tunnelling and Underground Space Technology, 81*, 1-11. ResearchGate.

Kim, Y., Lee, J., Park, C., 2020. Development of a rapid hardening ultra-high performance concrete. *Construction and Building Materials, 250*, 118862. ScienceDirect.

Study on the Quality of Grouting Mortar Mix for TBM Tunnel Lining in the Pilot Metro Project of Hanoi (Nhon - Ha Noi Station Section)

Nguyen Thi Nu[1*], Bui Truong Son[1], Ngo Thi Thoan[2], Ngo Van Luyen[2]

[1]*Hanoi University of Mining and Geology*

[2]*Institute of Foundations and Structures, Golden Earth Infrastructure Consulting JSC*

**Corresponding author: Email: nguyenthinu@humg.edu.vn*

Abstract

Backfill grout is used in tunnel boring machine (TBM) construction to fill the annular gap between the lining segments and the surrounding ground, ensuring the stability and durability of the tunnel. The grout was designed with an optimal mix including cement, bentonite, water, stabilizer (BASF), and sodium silicate (BASF). The mixing and testing processes were conducted both in the laboratory and at the batching plant to achieve the required properties. Technical parameters such as viscosity, bleeding, density, setting time, compressive strength at 1 hour, 24 hours, and 28 days, shrinkage, and water separation were determined. Results from about 30 days of testing showed that all grout batches satisfied the technical requirements and maintained stable quality during TBM construction.

Keywords: Backfill grout, TBM tunnel lining, optimal mix design.

GEOLOGICAL EVOLUTION AND GEOMORPHOLOGICAL HERITAGES OF THE NAM O ROCKY SHORE PLATFORM IN THE COASTAL AREA OF DANANG, VIETNAM

La Duong Hai[1], Pham Phuoc Toan[2], Do Quang Thien[3*]

[1]Dong A University

[2]The Government Inspectorate of Viet Nam

[3]University of Sciences, Hue University

**Corresponding Author: Email: thiendq@hueuni.edu.vn*

Abstract

The Nam O Rocky Shore Platform (Nam O RSP), located in Da Nang, Vietnam, is a unique natural landscape that vividly illustrates the geological and geomorphological evolution of Central Vietnam. This study focuses on elucidating the outstanding and distinctive values of this scenic spot from geological and geomorphological perspectives. Employing fieldwork, stratigraphic, and topographic analysis, the paper identifies three main geomorphological units: erosional-denudational hillslopes, marine-aeolian accumulation landforms, and the core area of Nam O RSP characterised by ancient limestone blocks. Geologically, the Nam O area represents an interplay between young Holocene sediments, older Tan Lam Formation (Early Devonian), and the imprints of the Hai Van magmatic complex (Late Triassic Period), which caused contact metamorphism and fracturing of the rocks. These features not only create a unique aesthetic landscape with vibrant green moss covering the rocks in spring but also serve as living evidence of tectonic processes, weathering, marine erosion, and Quaternary climatic changes. The Nam O RSP holds significant scientific value, serving as a prime example for interdisciplinary research in geology, biology, and the environment. Furthermore, it offers an ideal space for field education and possesses strong potential for sustainable tourism development, deserving conservation as a precious natural heritage.

Key words: Nam O Rocky Shore Platform, coastal geomorphology, Tan Lam Formation, geological evolution, geological heritage, Holocene, Da Nang.

1. Introduction

The coastal zone of Central Vietnam, characterised by its indented coastline and complex geological structure, is a convergence zone for dynamic geological and geomorphological processes. The interaction between ancient bedrock (Palaeozoic-Mesozoic), young Quaternary sediments, and modern marine processes (e.g., waves, tides, longshore currents) has created a diverse series of landscapes, ranging from sea cliffs and erosional headlands to hills, dunes, lagoons, and coastal plains. This study on these landscapes is not only significant for understanding the regional geological evolution but also provides a crucial scientific basis for resource management and disaster prevention in the context of climate change.

Among these coastal landscapes, Nam O Mossy Beach, which belongs to Hai Van Ward, Da Nang City, emerges as a unique site. It is a rocky shore platform composed of Siliceous limestone blocks of the Tan Lam Formation (Early Devonian), exposed on modern Holocene sediments. Annually in the spring season, the entire rocky platform is covered by a vibrant green moss layer, creating a spectacular landscape that has attracted considerable public and scientific interest. Despite its well-known aesthetic appeal, the geological values, formation history, and geomorphological heritage potential of Nam O Mossy Beach have not yet been systematically investigated and formally published in scientific forums (Fig. 1).

This paper aims to fill that research gap. The main objectives of this study are: (1) to analyze the geological and geomorphological characteristics, as well as the processes controlling the

formation of Nam O Mossy Beach; (2) to reconstruct the geological evolution history of the area from its bedrock formation to the present; and (3) to assess its geomorphological heritage values (scientific, educational, and aesthetic) to propose solutions for conservation and sustainable development. This research provides a comprehensive and in-depth understanding of the cause-and-effect relationship between endogenic and exogenic processes in the formation and shaping of the Nam O Rocky Shore Platform (Nam O RSP), particularly clarifying the role of magmatic activity and contact metamorphism in creating the unique petrographic and structural characteristics of the bedrock, as well as the role of Holocene sea-level fluctuations in shaping the coastal landscape.

2. Research materials and methodologies

2.1 Field Survey

Field surveys were conducted in the Nam O RSP area and its vicinity in Da Nang. Key activities included:

- Topographic parameters, slope, and aspect of rock masses and geomorphological surfaces were measured. Limestone samples from the Tan Lam Formation and Holocene sediment samples from coastal sand beaches were collected for laboratory analysis. Detailed descriptions of exposed sections were recorded, especially at contact points between different geological formations (ancient limestones, young sediments). Structures, composition, colour, and other characteristics of each layer were noted.

- As an observation of geological structures, the focus was placed on observing and documenting tectonic structures such as fractures, faults, and particularly the presence of white calcite veins cutting across limestone blocks. The degree of weathering and erosion on rock surfaces was assessed. With geomorphological features, identification and classification of major landforms in the area, including low hills, coastal sand beaches, and the characteristic rocky platforms of Nam O, noting their relationships and ongoing geomorphological processes. Materials collected from the field were brought to the laboratory for deep analysis.

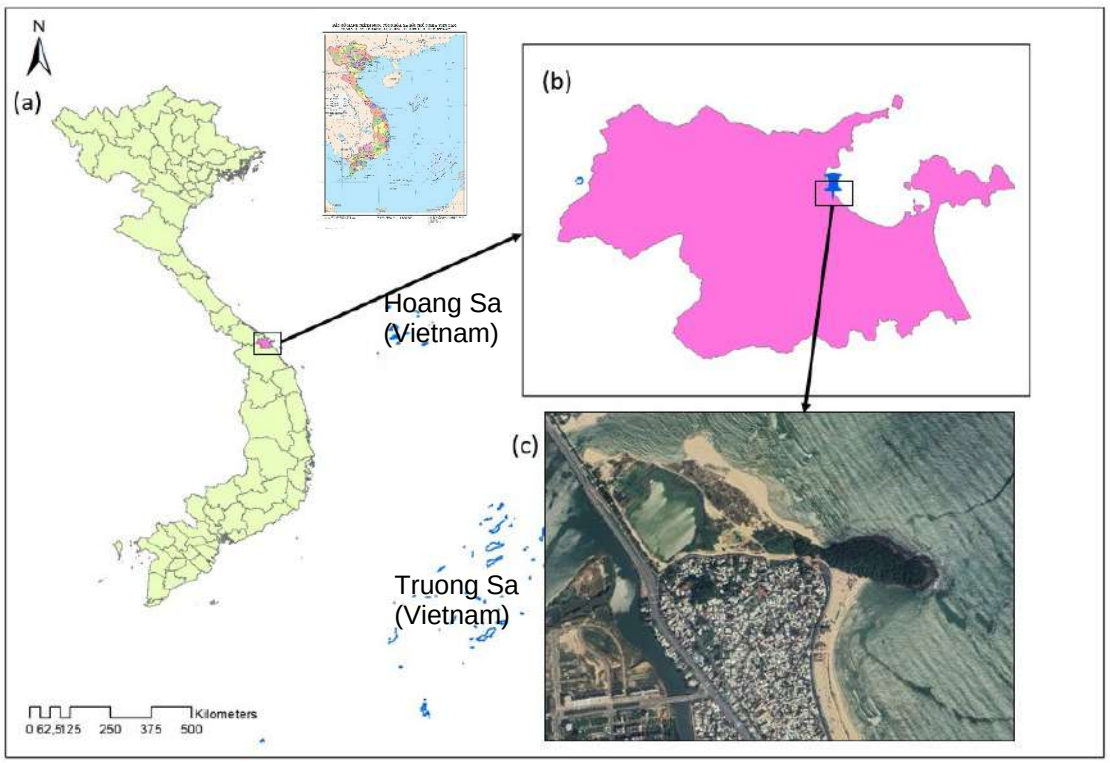


Fig. 1. Geographical location of Nam O Rocky Shore Platform (a, b); Nam O Rocky Shore Platform area captured from satellite image on Google Earth Pro (c)

2.2 Laboratory Analysis

Limestone samples from the Tan Lam Formation were prepared into thin sections and observed under a polarizing microscope; Mineral composition, texture (e.g., microcrystalline, porphyritic), and fabric (e.g., massive, banded) of the rocks were determined; Special attention was given to identifying evidence of contact metamorphism (e.g., recrystallization, formation of new metamorphic minerals) caused by the influence of the Hai Van magmatic complex. Holocene marine sediment samples were analysed to determine their material composition (sand, silt, clay) and grain size distribution. These results help assess the depositional environment, material source, and sedimentary dynamics during the formation of modern sand beaches and tidal flats.

2.3 Studied data analysis methodology

a. GIS and Remote Sensing Applications

In this study, Geographic Information System (GIS) software, such ArcGis was utilised to integrate, manage, and analyse spatial data layers; Satellite imagery from Google Earth Pro, Sentinel, and other sources was used to analyse and assess the topography-geomorphology and detailed geological map of the study area. These images also support the identification of large-scale geomorphological features and geological structures. Landsat 8 remote sensing images reflect the characteristics of the geomorphology and geology of the study area (Fig. 1).

b. Synthesis, Inheritance, and Literature Analysis

Scientific literature, research reports, and existing geological maps concerning the Da Nang area and the Central Vietnamese coast were synthesized and inherited; These data were comparatively analyzed with field survey and laboratory analysis results to provide the most comprehensive and accurate understanding of the geological evolution and geomorphological value of the Nam O RSP.

3. Research results

Research results highlight detailed geomorphological and geological characteristics of the Nam O Rocky Shore Platform, based on data collected from field surveys, laboratory analysis, and data processing.

3.1 Geomorphological Characteristics

The terrain of the Nam O RSP scenic area exhibits a clear contrast between low hills and young coastal accumulation surfaces, divided into three main types (Fig. 2).

Fig 2. Terrain strongly dissected by the Nam O mountain range extending into the sea

(Photo by Thien D.Q (5/2025))

This landform type develops on silicified limestone and high-silica limestone of the Tan Lam *geological f*ormation, with *average* elevations ranging from 5 to 30 m and slopes from 3 to 10 degrees. This area includes two distinct hilly masses: *(1) Large Hill Mass:* Located close to the

coastline, south of the Cu De River mouth, covering an area of approximately 60,000 m² and reaching elevations up to 30 m. *(2) Small Hill Mass:* Situated about 500 m southwest of the Nam O mountain, with elevations of 3-6 m and studied total area of approximately 10,000 m².

Fig 3. The undulating limestone blocks covered with moss, blending with the seawater, create a vivid yet incredibly mysterious painting of the sea. However, the moss only lasts for a short period of 2-3 weeks (Left photo: Thien D.Q., 10/2024; Right photo: https://tuoitrethudo.vn/)

The hillslopes are gently sloping, and their surfaces are heavily weathered, forming a thick weathering crust composed of yellowish-brown silty clay in the upper layer and reddish-brown clay in the lower layer. The shrub and dust vegetation plays a crucial role in limiting erosion-settlement processes (Dang Van Bao, 1996). This landform type is widely distributed along the coast south of the Cu De River mouth as modern sand beaches. Middle to Late Holocene marine sediments form terraces with an average elevation of 2-5 m, but the land surface remains unstable, constantly subjected to tidal action, sea waves, and coastal erosion. The sediment composition primarily consists of fine-grained yellowish quartz sand. Notably, scattered within this sedimentary belt are hard silicified limestone and high-silica limestone blocks of the Tan Lam Formation, forming rock clusters both on land and submerged, contributing to the impressive landscape (Do Quang Thien et al., 2014 - 2020; Bird, 2008).

Core Geomorphology of Nam O RSP such an area of outstanding scenic and scientific value, covering approximately 2 hectares, divided into two characteristic sub-areas (Fig. 3) as (1) Ran Ca: Extending about 300 m long and 50 m wide, with rugged terrain featuring numerous large, angular rock blocks lying close to each other or stacked, creating a unique morphology; (2) Ran Con: Smaller in area, with relatively flat terrain and a gentle beauty. The geomorphological structure of the Rocky Shore Platform primarily consists of durable natural rock blocks of various shapes and sizes. Under the influence of tectonic processes, weathering, and marine erosion, these hard rock masses are naturally sculpted, contributing to the formation of multi-directional fractures, where sea moss thrives in spring, creating the unique scenic spot (Cat Nguyen Hung et al., 1996). Detail of

3.2 Geological Characteristics

The Nam O RSP area possesses a rich geological foundation, reflecting a history of geological-tectonic development and the influence of marine-aeolian sedimentary processes, erosion-denudation, as well as magmatic intrusion over hundreds of millions of years (Fig. 4). The geological formations in the core study area include the following sedimentary formations and magmatic complexes, from oldest to youngest (Tab 1):

a. Tan Lam Formation (D_1 tl)

By the oldest geological unit in the scenic area, formed approximately 400 million years ago (Early Devonian). It is distributed south of the Cu De River mouth as low hills extending into the sea and trending sub-meridionally. In the study area, only the lower sub-formation (D1 tl1) is found, characterised by silicified limestone and high-silica limestone, ranging from smoky grey to dark green, fine-grained to micro-grained, and strongly deformed by tectonic compression. This

formation is the main constituent of the Nam O rocky shore platform (Fig. 5) (Cat Nguyen Hung et al., 1996; Nguyen Van Trang et al., 2001).

b. Hai Van Magmatic Complex ($\gamma_a T_3$ hv)

This is a granitic intrusive formation dating back to the Pre-Late Triassic (approximately 250 million years ago), which intruded and strongly deformed the ancient sedimentary rocks of the Tan Lam Formation. Although not directly exposed within the scenic area, the thermal effects of the magma caused contact metamorphism, hornfels formation, crumpling, and intense fracturing of the Tan Lam limestones (Nguyen Xuan Bao et al., 1980).

c. Quaternary Sediments (Middle-Late Holocene)

For Middle Holocene Marine Sediments - Nam O Formation (mQ22no) as formed under conditions of the Flandrian transgression maximum (approximately 6,000 - 2,500 years ago). These sediments are exposed as inland dunes and plains, 4-5 m high, concentrated on the western edge of the scenic area. The composition includes grayish-white sand with marine shells in the lower part, transitioning to medium to fine-grained white quartz sand in the upper part (Do Quang Thien, et al., 2021). Late Holocene Marine-Aeolian Sediments (mv, mQ23) are formed in a coastal marine environment influenced by wind and waves during the latest Holocene (approximately the last 2,500 years). They are distributed along the coastline as sand beaches, 40-70 m wide, a few meters high, and pale yellow in colour. The material composition is primarily fine-grained quartz sand (Fig. 6).

As study petrography, thin-section petrographic analyses have clarified the characteristics of the main rock types (Cat Nguyen Hung et al., 1996; Nguyen Van Trang et al., 2001). Silicified Limestone and High-Silica Limestone of the Tan Lam Formation: Exhibit a fine-grained to microcrystalline texture, creating a rugged, high-roughness surface, favorable for moss attachment. Hornfels Carbonate and Siliceous Marble: Formed by contact metamorphism when the Tan Lam Formation limestone was intruded by hot granitic magma. These rocks show a significant increase in strength (80-160 MPa), negligible water absorption, and good weathering resistance. White Calcite Veins: A prominent feature at Nam O Rocky Shore Platform, these white calcite veins cut across the dark rock matrix, forming a spiderweb-like pattern. When selectively weathered, the harder calcite veins become more prominent, creating diverse rock morphologies.

Tab 1. *Main Geological characteristics at Nam O RSP*

No	Geological unit	Geological period	Lithological composition	Geo-structural features	Geological processes	Landscape role
1	Tan Lams Formation (D_1 tl_1)	Early Devonian (About 400 Ma)	Siliceous limestone, silica-rich fine-grained limestone	Strongly compressed, multi-directional fractures, smoky gray to dark greenish color	Deep-marine deposition and tectonic deformation	Main bedrock of Nam O RSP (Ran Ca - Ran Con)
2	Hai Van magmatic complex (γaT_3 hv)	Late Triassic (About 250 Ma)	Granite, granodiorite (not directly exposed)	Contact metamorphism: hornfels, siliceous marble	Magma intrusion; Contact metamorphism formation of calcite veins	Increased rock strength, generation of fracture systems and distinctive white veins
3	Middle-Late Holocene sediments (mQ_2^2 *no*, mvQ_2^3)	About 6,000 years BP	Light gray-yellow marine sand with shell fragments	Beach sands, dunes, marine-Aeolian sediments	Holocene sea-level fluctuation, modern tidal-wind processes	Formation of coastal beaches, where ancient Nam O algae rocks created reef landscape

Note: BP-Before present; Ma-Million years ago

The limestone blocks of the Tan Lam Formation in the study area exhibit strong deformation structures such as multi-directional fracture systems. Most rocks have a massive, dense fabric, but due to intense tectonic compression, multi-directional fracture systems have formed. These

fractures are not only traces of tectonic activity but also serve as reservoirs for rainwater and a favorable environment for moss growth. Tectonic compression and the influence of magmatic intrusion caused brittle deformations, creating cracks and small faults within the rock mass, altering the rock's physical and mechanical properties. These cracks are often coated with reddish iron hydroxides, forming characteristic colored bands on the rock surface.

4. Result discussions

4.1 Geological - Geomorphological evolution history

The Nam O Rocky Shore Platform is a vivid testament to a complex geological-geomorphological evolution spanning hundreds of millions of years, shaped by the interaction of endogenic forces (tectonics, magma) and exogenic forces (climate, sea). This process can be reconstructed through three main stages as follows:

a. Tectonic and parent rock formation:

The geological foundation of the Nam O Rocky Shore Platform was formed during the Early Devonian period (approximately 400 million years ago) with the accumulation and compression of deep-sea sediments, primarily high-silica limestone and silicified limestone belonging to the Tan Lam Formation (D1 tl1). This sedimentary rock type is characterized by high hardness, fine grain size, smoky grey to dark green color, and is often fractured due to tectonic activity. The compression and uplift of these rock layers through multiple tectonic cycles created the Nam O mountain range extending into the sea, which forms the bedrock foundation of the current Ran Ca and Ran Con areas. Structural features such as fractures, weathered surface layers, and stratigraphic unconformities initially provided conditions for weathering-erosion processes and served as water accumulation sites, facilitating the development of microbial communities and moss.

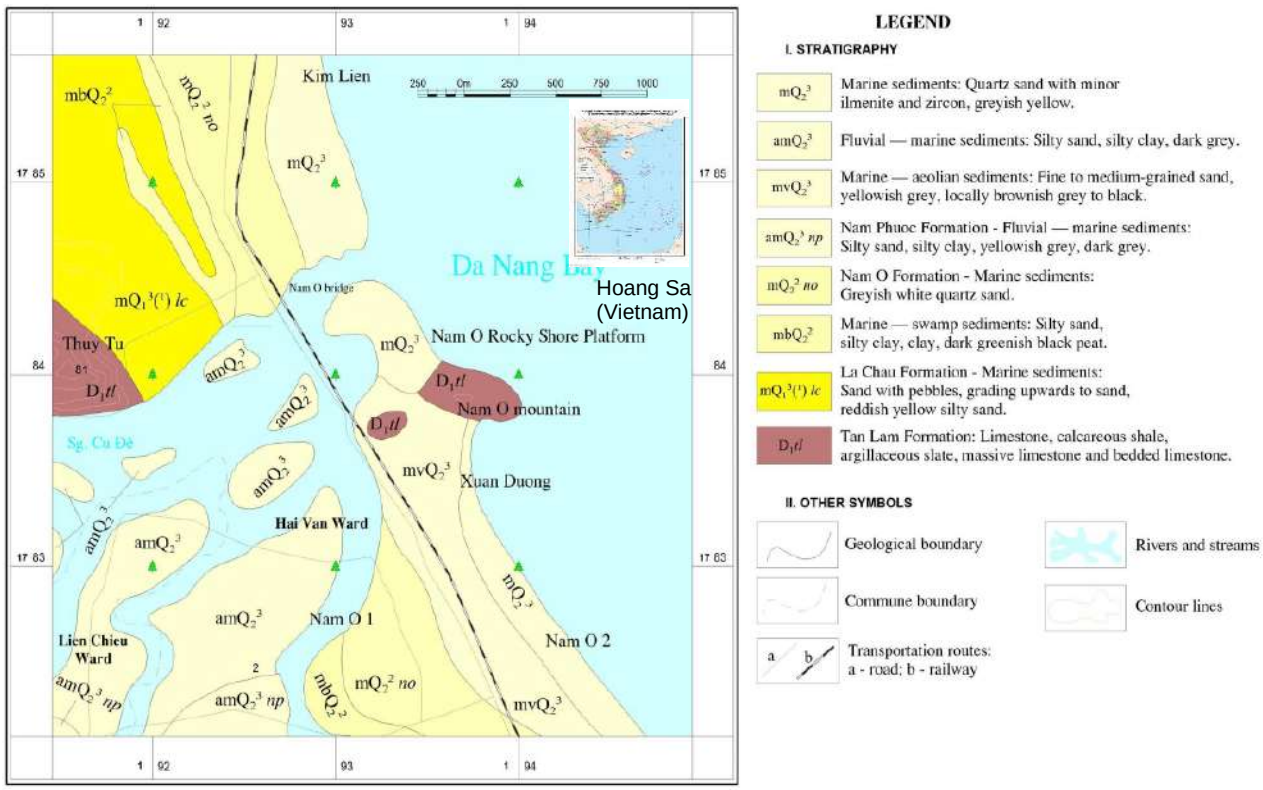


Fig 4. Geological map of Nam O Rocky Shore Platform and vicinity

Note: Edited according to the Geological and Mineral Map at 1:50,000 scale, Hoi An - Da Nang sheet group by Cat Nguyen Hung et al., 1996.

Fig 5. (a) Hard, greyish-green silicified limestone of the Tan Lam Formation, compressed, fractured, and weathered (dissolved) over time, causing the fractures to become smooth; (b) Fractured limestone blocks, containing white calcite veins interwoven like a spiderweb (Photo by Thien D.Q., 5/2025)

Fig 6. Silicified limestone boulders exposed on modern quartz sand beach, Late Holocene (Photo: Thien D.Q., 5/2025)

b. Magmatic intrusion and hot metamorphism process

During the Late Palaeozoic - Early Mesozoic era (approximately 250 million years ago), intense magmatic activity led to the formation of the Hai Van intrusive complex (γaT3 hv). Although the granitic masses are not directly exposed within the scenic area, evidence of the main intrusive phase has been recorded in adjacent areas. The magma intruded the Tan Lam limestone layers, causing contact metamorphism, hornfels formation, crumpling, and intense fracturing. This process specifically created a spiderweb-like fracture system, filled with white calcite veins - a distinctive feature easily observed at the Nam O Rocky Shore Platform. These prominent calcite veins are not only evidence of magmatic activity but also contribute to the aesthetic and unique character of the rock masses - when selectively weathered, the harder calcite veins become more pronounced, creating diverse rock morphologies and an ideal surface for moss attachment.

c. Modern Marine - Climatic - Exogenic Processes

Following the last glacial period (Wurm II), the area experienced the Flandrian transgression maximum (approximately 6,000 - 2,500 years ago), leading to the formation of Middle Holocene marine sediments (mQ22 no), followed by Late Holocene marine-aeolian sediments (mv, mQ23). These younger sediments unconformably overlie the ancient bedrock, forming the coastal plain

where material and energy are constantly exchanged due to waves, tides, and sea winds. In the Ran Ca and Ran Con areas, the exposed parts of the silicified limestone blocks of the Tan Lam Formation protrude through the sedimentary layers, subjected to intense action from sea waves, tides, and monsoons. These actions not only create rugged, fractured rock surfaces but also provide an ideal environment for the periodic growth of sea moss (typically appearing in spring). This moss cover, along with the diverse colours and shapes of the rocks, creates the unique aesthetic value of the Nam O RSP. The rock surfaces here also show evidence of salt weathering and micro-fracturing, indicating that erosion-denudation processes are still ongoing, gradually altering the geomorphological forms of the rocky shore.

The cause-and-effect relationship between these factors is clear: Ancient tectonic and magmatic activity created the bedrock with its fracture systems and metamorphism, increasing its durability and forming distinctive structures. Subsequently, modern exogenic processes such as waves, wind, tides, and weathering have continued to sculpt the rugged and diverse morphology of the rocky shore, while also creating ideal conditions for seasonal sea moss growth. Particularly, the Holocene sea-level fluctuations, with the Flandrian transgression as a peak, played a crucial role in shaping the current coastline and the existing terraces/sand depressions, leading to the diverse landform distribution seen today.

4.2 Geomorphological heritage values

The Nam O RSP is not merely a scenic landscape but also a valuable geological heritage site with numerous outstanding values:

a. Scientific and Academic values

***Tab 2**. Main geomorphological units at Nam O Rocky Shore Platform*

No	Geomorpho-logical units	Location and Distribution	Morphological features	Material composition	Geological processes	Scientific and Academic values
1	Erosion-landslide slopes	South of Cu De River mouth with sea extending toward	Elevation by 5-30 m high, slopes by 3-10°; And strongly weathered surface	Clay-silty weathering crust, yellowish brown to reddish brown	Weathering, sheet erosion, surface runoff	Records of Devonian bedrock and tectonic deformation; Slope failures restricted by vegetation cover
2	Marine-Aeolian accumulation landforms	Coastal zone with 2-5 meters high, and 40-70 meters wide	Sandy beach, low dunes, subject to tide-wave impacts	Fine-medium quartz sand, light yellow to grayish white	Middle-Late Holocene deposition, wave-wind controlled	Evidence of Holocene sea-level rise; Foundation for beach landscape and coastal ecology
3	Core rocky shore platform (Ran Ca - Ran Con)	About 2 ha, including Ran Ca (1500 m^2) and Ran Con (Narrow, low sloping)	Rugged blocks, multi-directional fractures, rising above sandy beach	Siliceous limestone, silica-rich limestone, cut by white calcite veins	Tectonic deformation, wave erosion, salt weathering; seasonal algal growth	Iconic seascape (green algae in spring season), high geomorphological-ecological value, tourism potential

The Nam O Rocky Shore Platform serves as an ideal "outdoor laboratory" for research on coastal geological and geomorphological evolution. It reflects the relationship between stratigraphic units from the Devonian to the modern geological era, including ancient metamorphosed limestones and Holocene sediments reflecting global climatic fluctuations. The presence of tectonic structures (fractures, calcite veins) and the imprints of ancient magmatic

activity provide valuable data for studying Earth's endogenic processes. Simultaneously, active exogenic processes (marine erosion, weathering) can also be directly observed, helping students and scientists better understand the dynamics of coastal systems. The Nam O RSP is an ideal location for organising field study programs for students in geology, geomorphology, environment, marine biology, and for community education on global climate change and sea-level rise. The details of geolomorphology unit comprise Scientific and academic values of research area shown via Tab 2 for 3 types geomorphological units.

b. Aesthetic and Tourism values

The unique beauty of the Nam O Rocky Shore Platform, especially during the moss season (from February to March annually), creates a multi-coloured contrasting landscape between the dark grey of ancient limestone, the vibrant green of moss, and the pale yellow of the sandy beach, harmonising with the sky and sea. The exposure of the mossy rocky shore only during the lowest tides adds a sense of mystery and rarity. The oblique morning light enhances visual effects, reflections, and shadows, strongly attracting photographers and nature lovers. With these features, the studied object has the potential to develop into a geological-scenic geotrail, an artistic photography spot, and a scientific-ecological stopover, integrating with the cultural values of the Nam O fishing village to create sustainable tourism products. Compared to other coastal rocky shores, the combination of ancient heavily metamorphosed limestone, distinct calcite vein systems, and seasonal moss cover gives the Nam O Rocky Shore Platform a unique character.

c. A potential geosite for the study area

Given its outstanding scientific, educational, and aesthetic values, the Nam O Rocky Shore Platform has the full potential to become an important "Geosite" within the future Da Nang - Nam Hai Van Coastal Geopark network. Recognition and management under the Geopark model will help effectively conserve geological values, promote scientific research, develop sustainable tourism, and raise community awareness about natural heritage. This will also contribute to protecting a precious and irreplaceable natural asset against the impacts of urbanisation and climate change for national programs.

5. Conclusions

This study has elucidated the outstanding geological and geomorphological values of the Nam O Rocky Shore Platform, Da Nang coast, Vietnam, contributing to the reconstruction of its evolutionary history, as follows:

1. The Nam O Rocky Shore Platform is a testament to a long and complex geological evolution, from the formation of shallow marine sedimentary rocks of the Tan Lam Formation (Early Devonian, approximately 400 million years ago), intensely intruded and metamorphosed by the Hai Van magmatic complex (pre-Late Triassic, approximately 250 million years ago), to the overlying Middle-Late Holocene marine and marine-aeolian sediments. This reflects Earth's crustal movements and environmental changes throughout geological eras.

2. The scenic spot is formed by a harmonious combination of three main landform types: erosional-denudational hillslopes on bedrock, Holocene Marine-Aeolian accumulation landforms, and especially the core area of the Nam O Rocky Shore Platform with its ancient limestone blocks, intensely fractured and deformed, creating a rugged and diverse morphology. Exogenic processes such as sea waves, tides, wind, and weathering continue to shape the landscape, while also providing favourable conditions for the seasonal growth of green moss.

3. The Nam O RSP holds immense scientific value as an "outdoor laboratory" for interdisciplinary research in geology, geomorphology, marine biology, and the environment. It also possesses unique aesthetic and tourism value. The contrasting beauty of ancient rocks, green moss, and the sea, along with its tidal exposure, makes it an attractive destination for tourists and photographers.

4. Given its identified outstanding values, the Nam O Rocky Shore Platform has great potential to be recognised as an important "Geosite", integrating into the future Da Nang - Nam Hai Van Coastal Geopark Network.

6. Recommendations

To conserve and sustainably utilise the given values of the Nam O RSP in the research area, this study proposes as following:

Delineate core, buffer, and service zones to limit negative impacts on the moss ecosystem and ancient bedrock for comprehensive planning and management.

Install bilingual information boards on geology, geomorphology, and ecology on-site to educate tourists and residents about the value of the scenic spot. Encourage local community participation in conservation efforts and sustainable livelihood tourism.

Design elevated walkways or wooden platforms along the rocky shore to prevent direct trampling on moss and rocks, ensuring both conservation and tourism experience with tourism responsibility.

Continue to encourage interdisciplinary research to further explore the hidden values of the Nam O Rocky Shore Platform, especially regarding the moss ecosystem and the impacts of global climate change and sea-level rise.

Acknowledgements

This research was conducted with valuable support from the Department of Geology, University of Sciences, Hue University, and the Da Nang Department of Natural Resources and Environment. We sincerely thank them for their assistance and for facilitating the field surveys and data analysis.

References

Bird, E. C. F. (2008). *Coastal geomorphology: An introduction*. John Wiley & Sons.

Bao, D. V. (1996). *Geomorphological characteristics of the Hue - Quang Ngai coastal plain* (PhD Thesis in Geographical - Geological Sciences). Vietnam National University, Hanoi.

Hung, C. N., et al. (1996). *Geological and mineral map at 1:50,000 scale, Hoi An - Da Nang sheet group*. Geological Archives, Hanoi.

Trang, N. V., et al. (2001). *Geological and mineral map at 1:200,000 scale (Huong Hoa - Hue - Da Nang sheet)*. Geological Archives, Hanoi.

Tien, D. Q., Thanh N. & Thien, D. Q. (2018). Research on Quaternary sediments, exploration - prospecting and management, utilization of loose construction materials in Quang Tri - Thua Thien Hue. *Journal of Natural Resources and Environment*, *4*(282), 19-21.

Tien, D. Q., Thien, D. Q., & Thanh N. (2019). Characteristics of Quaternary sediments in the coastal plain of Quang Tri - Thua Thien Hue. In *Proceedings of the 11th National Geographical Science Conference* (pp. 235-249).

Do, H. N. T., Thien, D. Q., Thanh, N. (2014). Stratigraphic characteristics of Quaternary sediments in Quang Nam coastal plain based on 1:50,000 geological map. *Hue University Journal of Science*, *97*(9), 205-214.

Thien, D. Q., Tien, D. Q., & Lan V. Q. (2020). Marine sand formations in Quaternary sediments in Thua Thien Hue and related geological heritage values. *Tạp chí địa chất, loạt A*, (371-372). Publishing House, Hanoi.

Thien, D. Q., Hai, L. D., et al. (2021). The Potential of Nam O White Sand as a Fine Aggregate for Concrete in Quang Nam. *Hue University Journal of Science: Earth Science and Environment*.

Thanh, T. D., D. T., Cu N. H., & Cu N. V. (2006). *Marine geomorphology of Vietnam*. Natural Science and Technology Publishing House.

XÁC ĐỊNH CÁC CHỈ TIÊU CHO DỰ TÍNH ĐỘ LÚN ỔN ĐỊNH CỦA NỀN ĐẤT YẾU BẰNG THÍ NGHIỆM DILATOMETER, ÁP DỤNG CHO KHU VỰC CÁI MÉP

Nguyễn Văn Phóng[1,*], Phan Tự Hướng[2], Phan Thành Tiền[3], Trương Thanh Cần[4]

[1]Trường Đại học Mỏ - Địa chất

[2]Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội

[3]Công ty CP Tư vấn Xây dựng Địa Thông

[4]Công ty CP Hàng hải và Năng lượng Hải Mã

**Tác giả liên hệ: Email: nguyenvanphong.dcct@humg.edu.vn*

Tóm tắt

Đất yếu là đối tượng dễ bị xáo động nên kết quả thí nghiệm mẫu trong phòng chịu ảnh hưởng đáng kể bởi công tác lấy mẫu. Trong điều kiện đó, việc kết hợp giữa thí nghiệm trong phòng và ngoài hiện trường là cần thiết. Bài báo trình bày phương pháp xác định các chỉ tiêu dùng dự tính độ lún ổn định của nền đất yếu bằng thí nghiệm hiện trường Dilatometer (DMT) và áp dụng tại khu vực cảng Cái Mép, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu. Nội dung bài báo sử dụng các công thức thực nghiệm để xác định môđun tổng biến dạng (E_o) và áp lực tiền cố kết (P_c) của đất yếu bằng DMT, đồng thời so sánh với các phương pháp phổ biến hiện nay như thí nghiệm hộp nén (OED) và xuyên tĩnh có đo áp lực nước lỗ rỗng (CPTu). Kết quả áp dụng tại 4 điểm khảo sát thuộc khu vực cảng Cái Mép cho thấy, sử dụng DMT xác định E_o với hệ số hiệu chỉnh $R_m = 0,8$ và xác định p_c bằng biểu thức Kamei cho kết quả phù hợp nhất.

Từ khóa: Đất yếu; Thí nghiệm Dilatometer (DMT); Môđun tổng biến dạng; Áp lực tiền cố kết.

1. Đặt vấn đề

Đất yếu là loại đất có khả năng chịu tải thấp, biến dạng lớn và lún theo thời gian, gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến ổn định và độ bền của công trình xây dựng. Đặc biệt, đất yếu thường là trầm tích trẻ có nguồn gốc hồ - đầm lầy - biển, chứa nhiều hạt mịn và thành phần hữu cơ, dẫn đến độ bão hòa cao, độ lỗ rỗng lớn và tính không đồng nhất theo chiều sâu. Những đặc điểm này khiến việc xác định chính xác các chỉ tiêu phản ánh tính biến dạng của đất, như môđun tổng biến dạng (E_o), áp lực tiền cố kết (p_c) trở nên rất quan trọng trong dự báo lún và thiết kế nền móng.

Môđun E_o là chỉ tiêu đặc trưng cho khả năng biến dạng toàn phần của đất nền dưới tác dụng tải trọng. Áp lực tiền cố kết p_c phản ánh lịch sử ứng suất của đất, ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng biến dạng, đặc biệt trong bài toán dự báo lún cố kết theo thời gian. Đây là các thông số cơ bản trong các bài toán tính lún. Tuy nhiên, đối với đất yếu, việc lấy mẫu nguyên dạng để thí nghiệm trong phòng thường gặp nhiều khó khăn do tính chất dễ bị xáo trộn. Một số thí nghiệm hiện trường có thể xác định E_o cho đất yếu như: thí nghiệm bàn nén lại có hạn chế là phức tạp, tốn kém và khó áp dụng ở độ sâu lớn; thí nghiệm xuyên tĩnh CPTu chỉ cho phép xác định E_o gián tiếp thông qua các hệ số thực nghiệm. Trong bối cảnh đó, phương pháp thí nghiệm hiện trường như Dilatometer (DMT) ngày càng được quan tâm nhờ khả năng đánh giá nhanh, trực tiếp và ít gây xáo động nền đất.

Thí nghiệm DMT đã được nghiên cứu và ứng dụng phổ biến trên thế giới để đánh giá đặc trưng biến dạng và nhiều đặc tính khác của đất. Phương pháp này cung cấp chuỗi dữ liệu theo chiều sâu và nhiều chỉ tiêu có giá trị như: môđun biến dạng ngang (E_D), môđun tổng biến dạng (E_o), độ bền không thoát nước (S_u), hệ số áp lực hông (K_o), chỉ số quá cố kết (OCR), áp lực tiền cố kết, ... Tuy nhiên, tại Việt Nam, việc ứng dụng DMT còn hạn chế và chưa có nhiều nghiên cứu đánh giá khả năng xác định Eo của DMT, đặc biệt chưa có so sánh với các phương pháp phổ biến khác.

Khu vực Cái Mép, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu (cũ) là vùng có đất yếu phân bố phổ biến, đồng thời là trung tâm phát triển cảng biển và công nghiệp trọng điểm phía Nam. Yêu cầu khảo sát địa kỹ thuật tại đây ngày càng cao, đòi hỏi các phương pháp thí nghiệm hiện trường hiệu quả và tin cậy.

Bài báo này trình bày ứng dụng thí nghiệm DMT trong xác định môđun tổng biến dạng (E_o) của đất yếu tại một vị trí điển hình ở khu vực Cái Mép, đồng thời so sánh với kết quả từ các phương pháp khác để đánh giá khả năng áp dụng và đề xuất hướng sử dụng DMT trong khảo sát nền đất yếu.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

2.1 Lún ổn định của nền đất yếu, chỉ tiêu tính toán và phương pháp xác định

Biến dạng của đất là khả năng thay đổi hình dạng, thể tích của đất khi chịu tác dụng của tải trọng. Khi tải trọng tác dụng chưa vượt quá ngưỡng phá hủy (gây ra biến dạng dẻo), biến dạng của đất chủ yếu là do quá trình nén chặt, tức là quá trình giảm thể tích lỗ rỗng và đất chặt hơn. Đất yếu thường là đất có hệ số rỗng lớn nên có tính biến dạng cao, khi được sử dụng làm nền thường gây độ lún (biến dạng thẳng đứng) đáng kể cho công trình. Độ lún ổn định là độ lún lớn nhất mà nền đất có thể đạt được sau khoảng thời gian nào đó dưới tác dụng của tải trọng không đổi. Việc kiểm toán độ lún ổn định của nền đất là bài toán cơ bản trong lĩnh vực địa kỹ thuật, có ý nghĩa quyết định đến giải pháp nền móng, đặc biệt trong điều kiện nền đất yếu. Kết quả dự tính độ lún ổn định phụ thuộc vào nhiều yếu tố, trong đó việc lựa chọn chỉ tiêu và phương pháp xác định phù hợp cho tính toán là yếu tố then chốt. Do biến dạng của đất bao gồm biến dạng đàn hồi và biến dạng dư, phụ thuộc vào lịch sử ứng suất nên các chỉ tiêu cơ bản dùng cho tính lún ổn định là môđun tổng biến dạng E_o và áp lực tiền cố kết (P_c).

Hiện nay, ở nước ta, các phương pháp xác định trực tiếp chỉ tiêu biến dạng của đất được dùng phổ biến là thí nghiệm hộp nén ở trong phòng (OED), thí nghiệm bàn nén ở hiện trường. Ngoài ra, người ta còn sử dụng các phương pháp gián tiếp từ thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn (SPT), xuyên tĩnh (CPT), xuyên tĩnh có đo áp lực nước lỗ rỗng (CPTu), nén ngang loại Menard (PMT) và nén ngang loại Dilatometer (DMT). Với đất yếu, việc lấy mẫu đảm bảo trạng thái tự nhiên thường gặp khó khăn nên việc xác định các chỉ tiêu cơ học của đất yếu cần kết hợp giữa phương pháp trong phòng và hiện trường để đảm bảo độ tin cậy. Các thí nghiệm hiện trường như SPT và CPT thường không được sử dụng do kém hiệu quả trong đất yếu. Thí nghiệm bàn nén có hạn chế là phức tạp và chủ yếu thí nghiệm cho lớp gần mặt đất. Như vậy, việc xác định chỉ tiêu cho tính lún ổn định của đất yếu có thể kết hợp giữa thí nghiệm OED và thí nghiệm hiện trường CPTu, nén ngang.

Theo TCVN 4200:2012, sử dụng thí nghiệm OED xác định môđun tổng biến dạng E_o theo từng cấp áp lực nén pi:

$$E_{oi} = \frac{1+e_{i-1}}{(e_{i-1}-e_i)}(p_{i-1} - p_i) \quad (1)$$

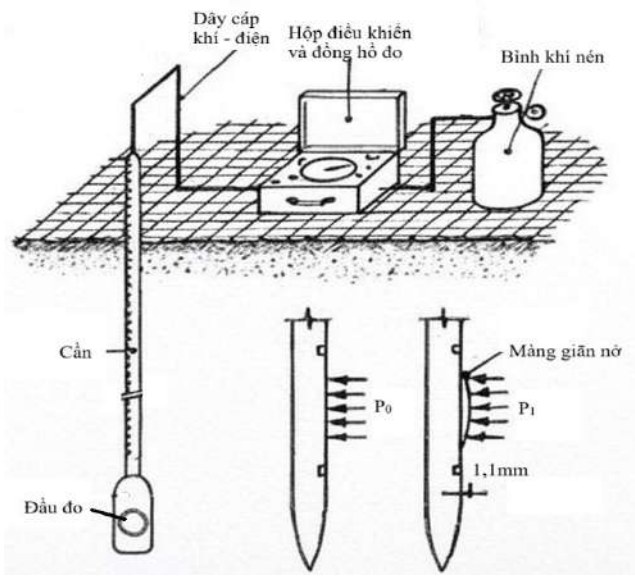
Trong đó: p_i là áp lực nén ở cấp thứ i; e_i là hệ số rỗng của đất ở cấp áp lực p_i. Với đất yếu, p_i = 12,5; 25; 50; 100; 200; 400 kPa.

Sử dụng kết quả thí nghiệm CPTu, môđun tổng biến dạng của đất yếu được xác định theo các công thức thực nghiệm sau (Mayne, P.W và cộng sự, 2018):

$$E_o = m(q_t - \sigma_{vo}) \quad (2)$$

Trong đó, q_t là sức kháng mũi xuyên hiệu chỉnh; σ_{vo} là ứng suất địa tầng tổng; m là hệ số thực nghiệm. Trong điều kiện đất yếu Việt Nam, m có thể lấy nằng từ 4 đến 6 (Nguyễn Văn Phóng, 2012).

2.2 Xác định chỉ tiêu cho tính lún ổn định của đất yếu bằng thí nghiệm DMT



Hình 1. Sơ đồ cấu tạo thiết bị DMT

Thí nghiệm nén ngang loại Dilatometer là một trong những phương pháp thí nghiệm tại hiện trường được sử dụng phổ biến trong khảo sát và phân tích địa kỹ thuật, đặc biệt trong việc đánh giá các đặc trưng cơ học của đất yếu (Marchetti, S., 1980, 2001, 2007, 2019; Monaco P., etc, 2007). Thiết bị thí nghiệm DMT gồm đầu đo dẹt (blade) bằng thép với màng kim loại tròn, mỏng, có đường kính 60 mm, được nối với bộ điều khiển trên mặt đất bằng ống khí nén-dây điện luồn theo các cần xuyên. Bộ điều khiển bao gồm các đồng hồ áp suất, đèn báo và âm thanh báo, các van để điều chỉnh áp suất khí nén được cung cấp từ bình khí nén (Hình 1). Trong quá trình thí nghiệm, đầu đo được ép xuống đất và thí nghiệm theo từng độ sâu.

Quá trình thí nghiệm DMT cần đo các thông số bao gồm: Áp suất ban đầu P_0 là áp suất để màng bắt đầu di chuyển (số đọc "A"); Áp suất P_1 là áp suất để màng dịch chuyển 1.1 mm (số đọc "B") và áp suất P_2 là áp suất còn lại (số đọc "C") sau khi xả áp để màng dịch chuyển về vị trí ban đầu. Từ các thông số đo được, các chỉ số DMT được xác định như sau (Marchetti 1980; Lutenegger, 1988):

- Chỉ số vật liệu hay còn gọi là chỉ số loại đất (I_D):

$$I_D = (P_1 - P_0)/(P_0 - U_o) \quad (3)$$

- Chỉ số ứng suất theo phương ngang (K_D):

$$K_D = (P_0 - U_o)/\sigma_{vo}' \quad (4)$$

- Môđun nén ngang (E_D):

$$E_D = 34{,}7(P_1 - P_0) \quad (5)$$

- Hệ số áp lực nước lỗ rỗng:

$$U_D = (P_2 - P_o)/(P_0 - U_o) \quad (6)$$

Trong đó: U_0 là áp lực nước lỗ rỗng ban đầu (bằng áp lực thuỷ tĩnh); σ_{vo}' là ứng suất hiệu quả theo phương đứng.

Các thông số DMT là cơ sở xác định các đặc trưng của đất như loại đất, độ bền không thoát nước (S_u), hệ số áp lực hông (K_o), hệ số quá cố kết (OCR), áp lực tiền cố kết (p_c) và một số chỉ tiêu khác. Trong đó, các chỉ tiêu cho tính lún ổn định được xác định như sau:

a) Môđun tổng biến dạng E_o

Môđun tổng biến dạng E_o là chỉ tiêu phản ánh mức độ biến dạng theo phương thẳng đứng. Trong khi môđun biến dạng ngang E_D phản ánh mức độ biến dạng theo phương ngang. Vì vậy, giữa E_o và E_D có mối liên hệ tương quan chặt chẽ với nhau liên quan đến tính chất nở hông của đất. Mối liên hệ này được phản ánh qua biểu thức:

$$E_o = R_m\ E_D \tag{7}$$

Trong đó, R_m là hệ số hiệu chỉnh (từ biến dạng ngang về biến dạng thẳng đứng), được xác định bằng thực nghiệm hoặc có thể xác định theo đề xuất của Marchetti (1980s): R_m phụ thuộc vào I_D và K_D, được xác định theo bảng 1. Việc xác định R_m theo cách này khá phức tạp. Với một loại đất và cùng trạng thái, các chỉ số I_D, K_D (liên quan đến hệ số áp lực hông) ít biến đổi nên có thể xem hệ số R_m là hằng số. Do đó, mỗi loại đất ở một khu vực cần được xác định hệ số R_m để tiện sử dụng.

Bảng 1. *Xác định R_m theo I_D và K_D*

Điều kiện	Biểu thức xác định R_m	Ghi chú
$I_D \le 0{,}6$	$R_m = 0{,}14+2{,}36\cdot\log(K_D)$	Đất loại sét
$I_D \ge 3$	$R_m = 0{,}5+2\cdot\log(K_D)$	Cát chặt
$0{,}6 < I_D < 3$	$R_m = R_{m0}+(2{,}5-R_{m0})\cdot\log(K_D)$ với $R_{m0} = 0{,}14+0{,}15\cdot(I_D-0{,}6)$	Nội suy giữa hai trường hợp trên
$K_D > 10$	$R_m = 0{,}32+2{,}18\cdot\log(K_D)$	Ưu tiên dùng biểu thức này nếu $K_D > 10$
Nếu $R_M < 0{,}85$	$R_m = 0{,}85$	Áp dụng sau cùng để giới hạn giá trị nhỏ nhất của R_M

b) Xác định hệ số quá cố kết (OCR) và áp lực tiền cố kết (p_c)

Hệ số quá cố kết (OCR) và áp lực tiền cố kết (p_c) là những chỉ tiêu quan trọng trong tính lún, phản ánh lịch sử ứng suất. Trong đó, p_c được dùng trực tiếp trong dự báo độ lún của nền đất và liên hệ với OCR qua biểu thức sau:

$$p_c = \sigma'_{vo}.OCR \tag{8}$$

Áp lực tiền cố kết p_c được xác định trực tiếp từ thí nghiệm OED với mẫu nguyên trạng. Với đất yếu, để hiệu chỉnh ảnh hưởng của xáo động mẫu có thể tham chiếu với giá trị p_c xác định theo biểu thức (8) với trị số OCR xác định từ thí nghiệm DMT.

Trong đất loại sét, biểu thức ban đầu để xác định hệ số quá cố kết OCR từ chỉ số ứng suất ngang K_D được đề xuất bởi Marchetti (1980):

$$OCR = (0.5K_D)^{1.56} \tag{9}$$

Biểu thức này sau đó được Kamei và cộng sự (1995) điều chỉnh dựa trên nhiều dữ liệu tổng hợp từ nhiều khu vực khác nhau:

$$OCR = (0.47K_D)^{1.43} \tag{10}$$

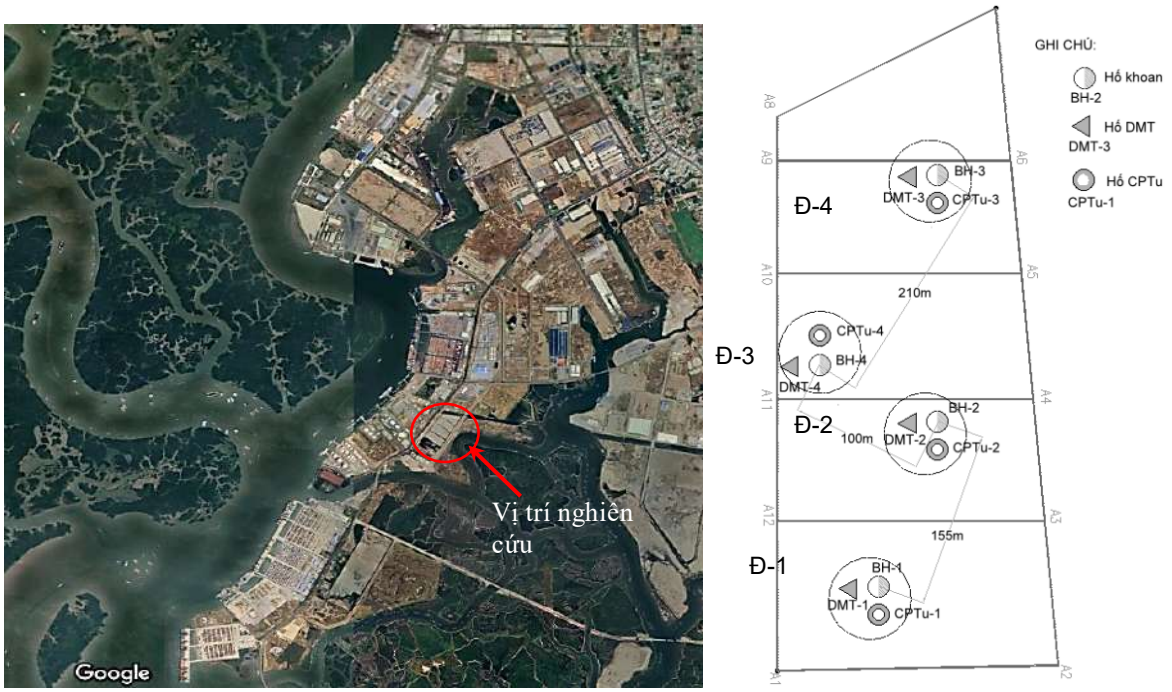
Các biểu thức (9), (10) đều là các biểu thức thực nghiệm. Việc áp dụng các biểu thức này cho mỗi loại đất cần có đánh giá sự phù hợp.

3. Kết quả và thảo luận

3.1 Phương pháp tiến hành

Để áp dụng cơ sở lý thuyết trình bày trong mục 2 cho đất yếu khu vực cảng Cái Mép, một tổ hợp các phương pháp khảo sát và thí nghiệm được triển khai đồng thời tại 4 điểm nghiên cứu (Đ-1, Đ-2, Đ-3, Đ-4) đều thuộc khu vực Cảng Cái Mép, Thành phố Hồ Chí Minh (hình 2a).

Tại mỗi điểm nghiên cứu, tiến hành đồng thời một tổ hợp bao gồm: 01 hố khoan để xác định địa tầng và lấy mẫu; 01 hố xuyên tĩnh CPTu và 01 hố thí nghiệm DMT (hình 2b). Trong đó, khoảng cách giữa các hố khoan (BH), CPTu, DMT tại một vị trí cách nhau khoảng 2m nhằm đảm bảo địa tầng và tính chất cơ lý của đất tương tự nhau, đồng thời không ảnh hưởng đến trạng thái của đất. Các hố khoan, xuyên và DMT được ký hiệu theo thứ tự điểm nghiên cứu như hình 2b. Tổng hợp thiết bị sử dụng, khối lượng khảo sát, thí nghiệm được nêu chi tiết trong bảng 2.



a) *b)*

Hình 2. Vị trí khu vực nghiên cứu (a) và các điểm khảo sát (b)

Bảng 2. *Tổng hợp các phương pháp khảo sát áp dụng tại vị trí nghiên cứu*

TT	Loại hình khảo sát	Loại thiết bị sử dụng	Khối lượng tại mỗi điểm khảo sát				Tiêu chuẩn áp dụng
			Đ-1	Đ-2	Đ-3	Đ-4	
1	Khoan (m)	XY - 100	33,0	33,0	33,0	33,0	TCVN 9437:2012
2	Lấy mẫu (mẫu)	Ống mẫu thành mỏng	12	12	12	12	ASTM D1587
3	CPTu (m)	Geomil -100kN	30,0	30,0	30,0	30,0	ASTM D5778
4	DMT (điểm)	Flat Dilatometer	10	10	10	10	ASTM D6635
5	OED (mẫu)	Tam Liên	7	7	7	7	TCVN 4200:2012

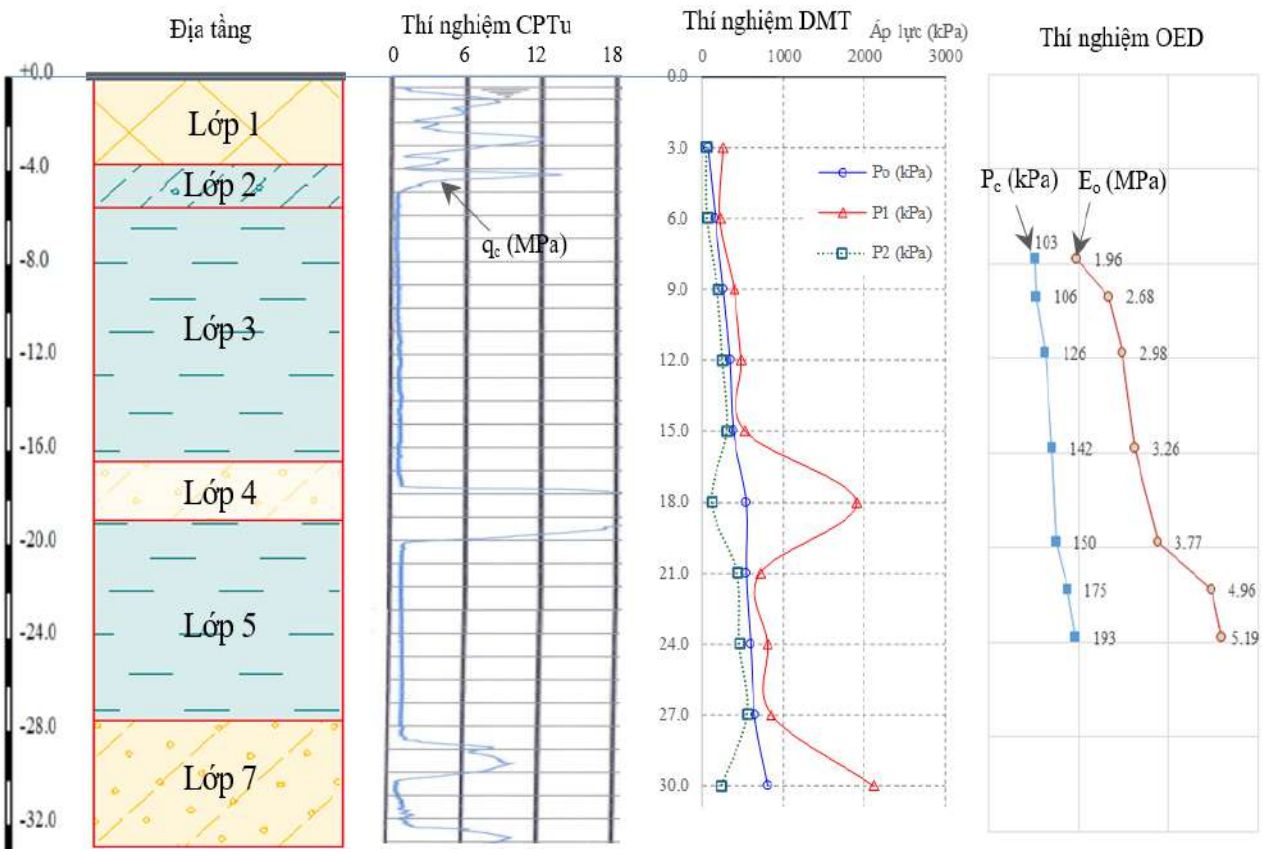
3.2 Kết quả nghiên cứu thực nghiệm

Kết quả khoan khảo sát (4 hố khoan) và thí nghiệm cơ lý thông thường (48 mẫu đất) cho thấy, nền đất khu vực nghiên cứu đến độ sâu 33,0m bao gồm 7 lớp đất: Lớp 1 - Đất san lấp, cát pha xám đen; Lớp 2 - Sét pha, xám nâu, dẻo mềm; Lớp 3 - Sét, xám xanh, xám đen, dẻo chảy; Lớp 4 - Sét pha nhẹ, xám vàng, dẻo mềm; Lớp 5 - Sét, xám xanh, dẻo chảy; Lớp 6 - Sét pha, xám vàng, xám trắng, dẻo cứng; Lớp 7 - Sét pha, xen kẹp cát, xám vàng, dẻo cứng. Sự phân bố của các lớp đất tại các điểm khảo sát được biểu diễn trên các hình 3, 4, 5, 6. Tổng hợp kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu vật lý của các lớp đất được biểu thị trong bảng 3.

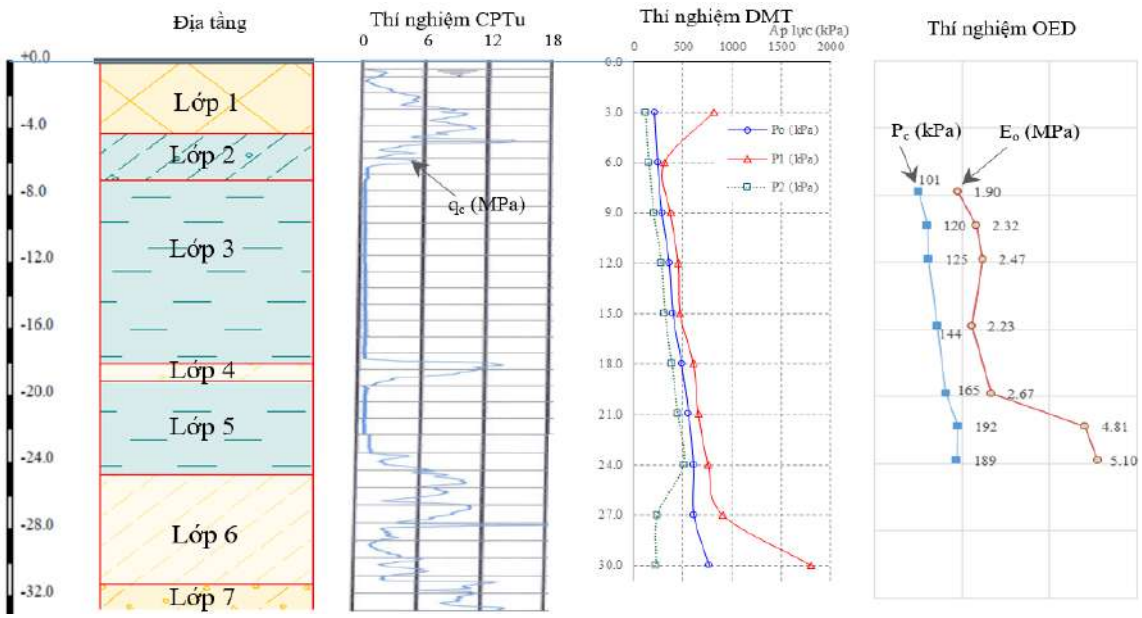
Bảng 3. *Tổng hợp các chỉ tiêu vật lý của các lớp đất*

Lớp đất	Độ ẩm (w)	Dung trọng tự nhiên *(γ)*	Dung trọng khô *($γ_d$)*	Tỷ trọng hạt *(G_s)*	Hệ số rỗng (e)	Độ lỗ rỗng *(n)*	Độ bão hòa, *S_r*	Giới hạn chảy *LL*	Giới hạn dẻo *PL*	Chỉ số dẻo *PI*	Độ sệt *I_s*
	%	g/cm³	g/cm³	-	-	%	%	%	%	%	-
Lớp 2	30,5	1,85	1,40	2,69	0,902	47,2	90,9	38,1	22,0	16,1	0,53
Lớp 3	64,7	1,58	1,00	2,60	1,718	62,9	97,9	68,4	32,5	35,9	0,90
Lớp 4	23,9	1,89	1,50	2,66	0,744	42,4	85,6	26,8	17,4	9,4	0,73
Lớp 5	53,8	1,65	1,10	2,63	1,451	58,9	97,4	61,3	30,1	31,2	0,76
Lớp 6	28,0	1,89	1,50	2,70	0,830	45,0	90,5	37,2	21,2	16,0	0,41
Lớp 7	22,0	1,94	1,60	2,66	0,677	40,2	86,7	28,3	19,0	9,4	0,33

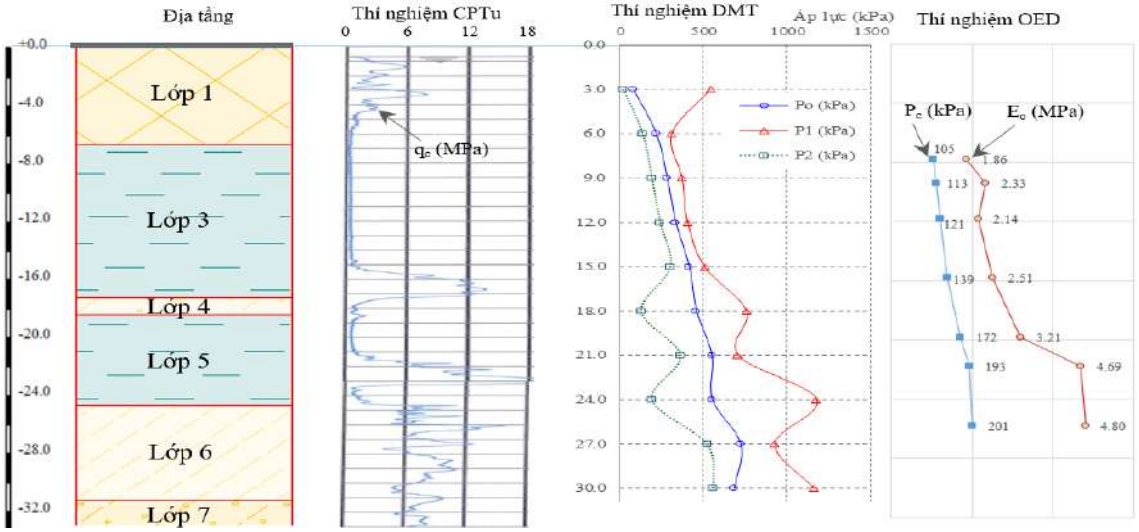
Theo kết quả tổng hợp trong bảng 3, nền đất khu vực có lớp 3 và lớp 5 đều thuộc loại đất sét ở trạng thái dẻo chảy (độ sệt 0,75< I_s <1), có hệ số rỗng, độ ẩm và độ bão hòa lớn (e >1, w >50%, S_r > 97%), do đó chúng được xem là đất yếu. Trong đó, lớp 5 có tính chất xây dựng tốt hơn lớp 3 do độ sệt, độ ẩm, hệ số rỗng nhỏ hơn, dung trọng tự nhiên lớn hơn. Kết quả thí nghiệm hiện trường CPTu, DMT và thí nghiệm OED tại các điểm khảo sát được biểu diễn trên các hình 4, 5, 6, 7.



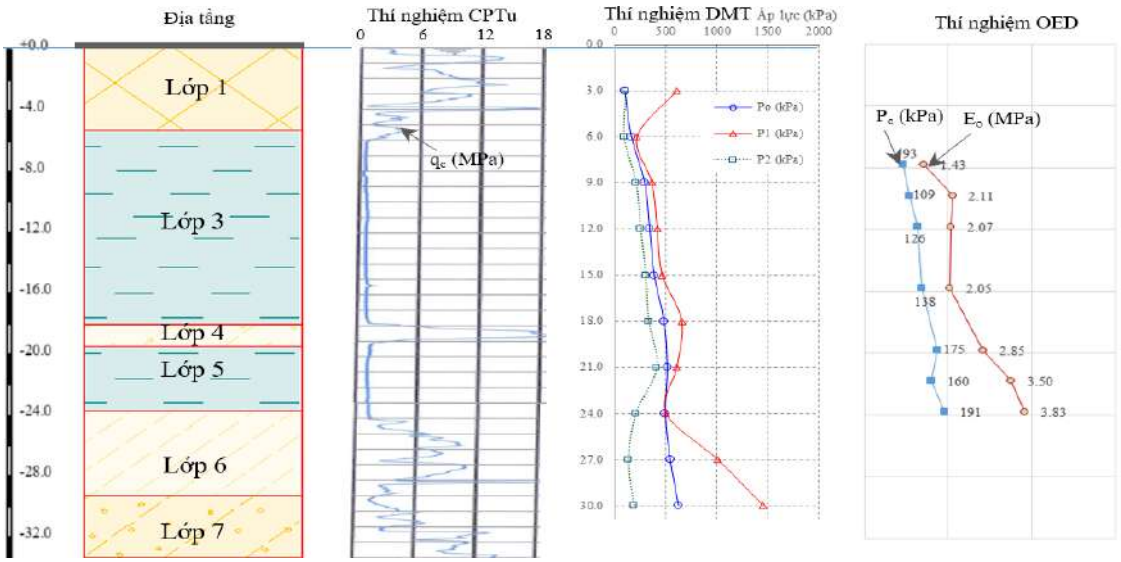
Hình 3. Kết quả thí nghiệm CPTu, DMT và OED tại Đ-1.



Hình 4. Kết quả thí nghiệm CPTu, DMT và OED tại Đ-2.



Hình 5. Kết quả thí nghiệm CPTu, DMT và OED tại Đ-3.



Hình 6. Kết quả thí nghiệm CPTu, DMT và OED tại Đ-4.

Thí nghiệm OED được tiến hành theo TCVN 4200: 2012 với các cấp áp lực nén được lựa chọn phù hợp với đất yếu là p_i = 12,5; 25; 50; 100; 200; 400 kPa. Kết quả thí nghiệm đã xác định được P_c và E_o. Trong đó, môđun tổng biến dạng E_o được xác định cho từng cấp áp lực theo biểu thức (1) và được chọn tương ứng với áp lực tại độ sâu lấy mẫu thí nghiệm. Tổng hợp kết quả xác định P_c và E_o được cho trong bảng 4.

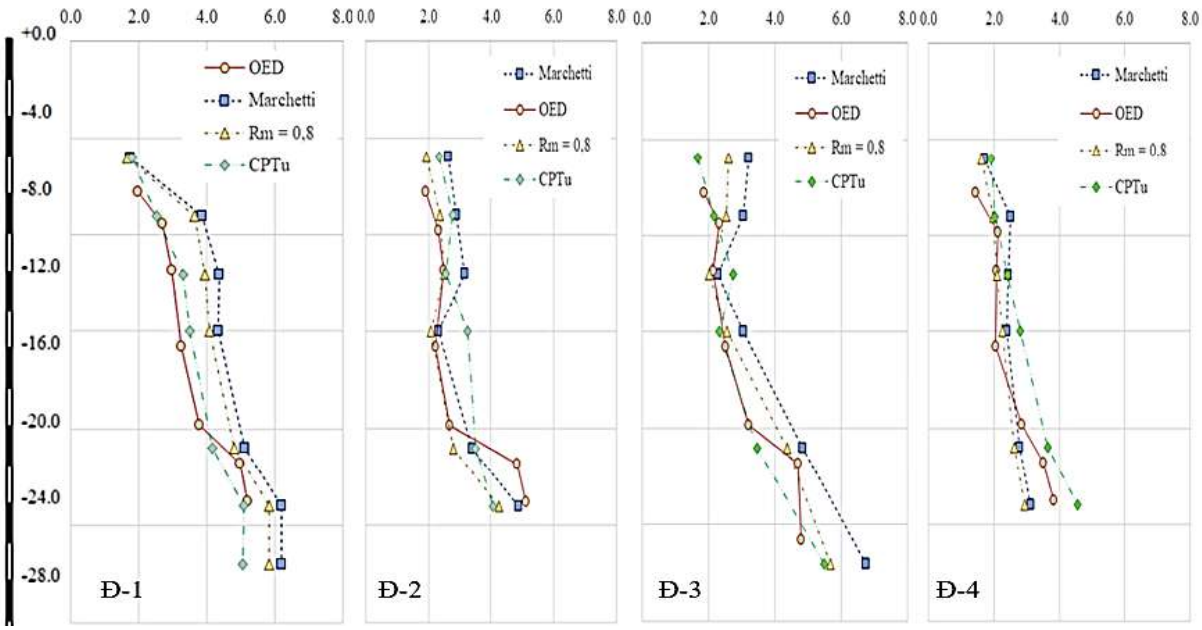
Bảng 4. *Tổng hợp kết quả thí nghiệm OED trong các lớp đất yếu*

Lớp đất yếu	Độ sâu	Đ-1		Đ-2		Đ-3		Đ-4	
		p_c kPa	E_o Mpa	p_c kPa	E_o Mpa	p_c kPa	E_o Mpa	p_c kPa	E_o Mpa
Lớp 3	7,8	103,1	1,96	101,2	1,90	104,8	1,86	93,4	1,43
	9,8	106,4	2,68	120,3	2,32	112,6	2,33	108,5	2,11
	11,8	126,3	2,98	124,7	2,47	121,5	2,14	126,4	2,07
	15,8	141,8	3,26	143,8	2,23	139,3	2,51	138,2	2,05
	Trung bình	***119,4***	***2,72***	***122,5***	***2,23***	***119,5***	***2,21***	***116,6***	***1,91***
Lớp 5	19,8	150,3	3,77	164,6	2,67	171,5	3,21	175,2	2,85
	21,8	175,3	4,96	191,8	4,81	193,4	4,69	160,1	3,50
	23,8	193,4	5,19	189,1	5,10	201,0	4,80	191,2	3,83
	Trung bình	***173,0***	***4,64***	***181,8***	***4,19***	***188,7***	***4,23***	***175,5***	***3,39***

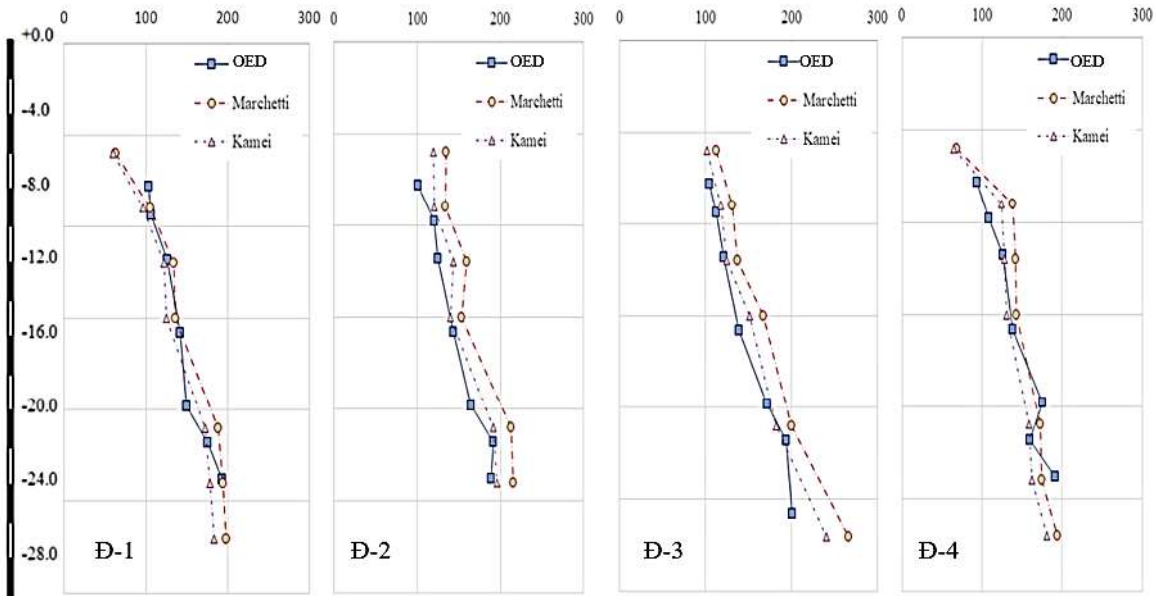
Ghi chú: Trị số E_o ở các độ sâu được lấy phù hợp với các cấp áp lực nén.

Ngoài việc sử dụng thí nghiệm OED, các chỉ tiêu E_o và p_c còn được xác định từ thí nghiệm hiện trường CPTu, DMT. Theo CPTu, E_o được xác định theo biểu thức (2) với hệ số m được chọn bằng 5,5. Theo kết quả thí nghiệm DMT, môđun E_o được xác định theo biểu thức (7) với hệ số R_m xác định theo Machetti (bảng 2) và theo nhóm tác giả đề xuất là R_m = 0,8; áp lực tiền cố kết p_c được tính theo biểu thức (8) với hệ số OCR được xác định theo Machetti (biểu thức 9) và Kamei (biểu thức 10).

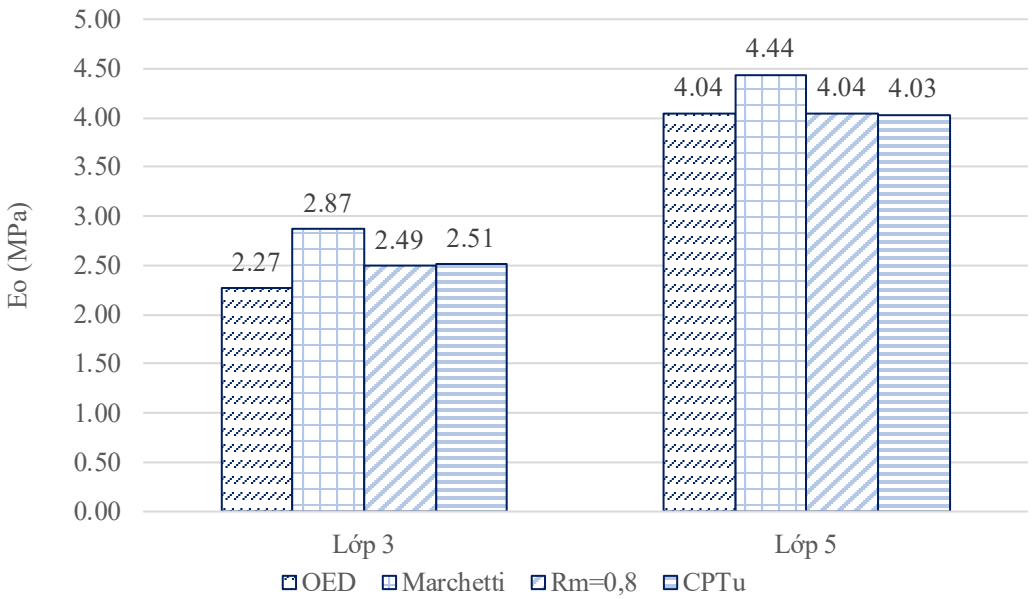
Kết quả xác định các chỉ tiêu E_o, P_c theo các phương pháp khác nhau tại 4 điểm nghiên cứu được biểu diễn trên các hình 8, 9, 10, 11 và được tổng hợp trong bảng 6.



Hình 7. Biểu đồ E_o xác định bằng các phương pháp khác nhau theo chiều sâu



Hình 8. Biểu đồ P_c xác định bằng các phương pháp khác nhau theo chiều sâu



Hình 9. So sánh E_o nhận được từ các phương pháp khác nhau

Bảng 5. *Tổng hợp kết quả xác định E_o, P_c theo các phương pháp khác nhau*

Lớp đất yếu	Điểm nghiên cứu	Môđun tổng biến dạng, Eo (Mpa)				Áp lực tiền cố kết, Pc (Kpa)		
		OED	Marchetti	Rm=0,8	CPTu	OED	Marchetti	Kamei
	Đ-1	2.72	3.58	3.33	2.79	119.405	125.1	114.7
	Đ-2	2.23	2.75	2.22	2.73	122.49	145.4	130.8
	Đ-3	2.21	2.90	2.44	2.23	119.528	136.9	123.8
Lớp 3	Đ-4	1.91	2.26	1.98	2.29	116.62	141.0	127.8
	Trung bình	**2.27**	**2.87**	**2.49**	**2.51**	**119.5**	**137.1**	**124.3**
	Đ-1	4.64	5.8	5.5	4.8	173.016	193.662	178.471
	Đ-2	4.19	4.1	3.5	3.8	181.811	203.03	185.32
	Đ-3	3.95	4.8	4.4	3.5	182.479	200.06	182.30
Lớp 5	Đ-4	3.39	3.0	2.8	4.1	175.496	173.58	160.71
	Trung bình	**4.04**	**4.44**	**4.04**	**4.03**	**178.2**	**192.6**	**176.7**

Trong các phương pháp xác định E_o và P_c, phương pháp OED là phương pháp thí nghiệm trực tiếp nên được coi phương pháp chuẩn để so sánh. Kết quả biểu diễn trên hình 9 và bảng 6 cho thấy, E_o theo thí nghiệm OED cho kết quả tổng thể thấp nhất, có thể do ảnh hưởng của xáo động mẫu. Trong khi đó, xác định E_o theo đề nghị của Marchetti (xác định R_m theo bảng 2) cho kết quả cao hơn OED khoảng 10 - 20%. Tuy nhiên, khi sử dụng hệ số hiệu chỉnh $R_m = 0,8$ (nhóm tác giả đề xuất), giá trị E_o từ DMT tiệm cận với OED hơn, với độ sai lệch rất nhỏ trong lớp 3 và 9,6% trong lớp 5. Thêm vào đó, kết quả xác định E_o theo CPTu với hệ số m lấy bằng 5,5 cũng cho kết quả tương đồng với DMT khi chọn $R_m = 0,8$.

Về xác định áp lực tiền cố kết P_c, kết quả nghiên cứu cho thấy, biểu thức của Kamei thu được kết quả gần với OED hơn so với khi sử dụng công thức gốc của Marchetti (1980). Cụ thể, ở cả hai lớp đất yếu (lớp 3 và lớp 5), sai lệch giữa DMT (theo Kamei) và OED chỉ nhỏ hơn 4%, trong khi sử dụng biểu thức của Marchetti cho độ sai lệch cao hơn (trên 8%). Điều này cho thấy biểu thức Kamei có độ phù hợp tốt với hai lớp đất yếu khu vực Cái Mép.

4. Kết luận

Bài báo đã trình bày kết quả ứng dụng thí nghiệm Dilatometer (DMT) trong việc xác định các chỉ tiêu cơ học quan trọng phục vụ dự báo độ lún ổn định của đất yếu tại khu vực cảng Cái Mép. Thông qua việc so sánh với các phương pháp truyền thống (OED và CPTu), nghiên cứu cho thấy:

Giá trị môđun tổng biến dạng (Eo) xác định bằng DMT theo Marchetti dao động cao hơn OED khoảng 10 - 20%, nhưng với đề xuất điều chỉnh $R_m = 0,8$ độ lệch này giảm đáng kể (<10%) và cũng phù hợp với kết quả CPTu khi chọn hệ số m = 5,5.

Áp lực tiền cố kết (P_c) xác định theo công thức Kamei cho kết quả gần với P_c từ OED, được đánh giá phù hợp với đất yếu khu vực nghiên cứu.

Kết quả nghiên cứu cho thấy, có thể sử dụng thí nghiệm DMT kết hợp với OED nhằm nâng cao độ tin cậy, giảm ảnh hưởng của xáo động mẫu trong điều kiện đất yếu và công trình có yêu cầu kỹ thuật cao. Với đất yếu tương tự, nên áp dụng hệ số hiệu chỉnh $R_m = 0.8$ để xác định E_o và công thức của Kamei để xác định OCR và P_c.

Cần mở rộng nghiên cứu tại các khu vực đất yếu khác trên cả nước để hiệu chỉnh các công thức nội suy phù hợp điều kiện địa chất Việt Nam.

Lời cảm ơn

Báo cáo này là kết quả của đề tài nghiên cứu khoa học cấp cơ sở mã số T25-14, do Trường Đại học Mỏ - Địa chất cấp kinh phí. Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ về tài chính và cơ sở thiết bị nghiên cứu của Nhà trường trong suốt quá trình thực hiện đề tài.

Tài liệu tham khảo

Marchetti, S. (1980). In situ tests by flat dilatometer. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 106(GT3), 299-321.

Kamei, T., et al. (1995). Evaluation of overconsolidation ratio of clay using flat dilatometer test. Soils and Foundations, 35(3), 13-20.

Coduto, D.P. (2011). Foundation Design: Principles and Practices. 2nd ed., Pearson Education.

Mayne, P.W. (2018). Interpretation of geotechnical parameters from seismic piezocone tests. In CPT'18, Delft, Netherlands.

Nguyễn Văn Phóng (2012). Địa kỹ thuật công trình - Khảo sát và tính toán nền đất yếu. Nhà xuất bản Xây dựng.

Nguyễn Văn Phóng & Tạ Đức Thịnh (2008). So sánh một số phương pháp hiện trường trong khảo sát đất yếu. Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất, (22), 17-22.

Lutenegger, A. (2021). Applications and limitations of dilatometer tests in soft clay. Proceedings of ISC'7, Brazil.

TCVN 4200:2012. Đất xây dựng - Phương pháp xác định tính nén lún trong phòng thí nghiệm.

TCVN 5747:1993. Xác định độ lún của nền đất bằng phương pháp nén một trục.

ASTM D5778. Standard Test Method for Performing Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils.

ASTM D6635. Standard Test Method for Performing Flat Plate Dilatometer Testing in Soils.

TCVN 9437:2012. Khoan thăm dò địa chất công trình.

Determination of Parameters for Predicting Long-Term Settlement of Soft Soils Using Dilatometer Test: A Case Study at Cai Mep Area

Nguyen Van Phong[1,*], Phan Tu Huong[2], Phan Thanh Tien[3], Truong Thanh Can[4]

[1]*Hanoi University of Mining and Geology*

[2]*Hanoi Architectural University*

[3]*GeoSmart Construction Consultants Joint Stock Company*

[4]*Seahorse Marine and Energy Joint Stock Company*

**Corresponding author: Email: nguyenvanphong.dcct@humg.edu.vn*

Abstract

Soft soils are highly susceptible to disturbance, making laboratory test results significantly affected by the sampling process. Under such conditions, a combination of laboratory and in-situ testing is essential. This paper presents a method for determining parameters used to predict the long-term settlement of soft soil foundations through the Flat Dilatometer Test (DMT), with an application in the Cai Mep Port area, Ba Ria - Vung Tau Province, Vietnam. Empirical formulas are employed to determine the total deformation modulus (E_o) and preconsolidation pressure (P_c) from DMT results, and the findings are compared with those from commonly used methods such as oedometer tests (OED) and piezocone penetration tests (CPTu). The results from four testing locations in the Cai Mep area indicate that using DMT with a correction factor R_m = 0,8 for determining Eo and applying Kamei's formula for calculating P_c provides the most consistent and reliable outcomes.

Keywords: Soft soil, Dilatometer Test (DMT), Total Deformation modulus, Preconsolidation pressure.

NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG HỆ THỐNG PHÂN CẤP VÀ TIÊU CHÍ PHÂN ĐỊNH ĐỊA TẦNG ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH

Nguyễn Văn Phóng[1,3*], Bùi Trường Sơn[1,3], Bùi Văn Bình[1,3], Nguyễn Song Thanh[2], Nguyễn Tiến Dũng[2]

[1]Trường Đại học Mỏ - Địa chất

[2]Viện Nền móng và Công trình ngầm

[3]Nhóm nghiên cứu Địa chất công trình và Địa môi trường (EEG)

**Tác giả liên hệ: Email: nguyenvanphong.dcct@humg.edu.vn*

Tóm tắt

Địa tầng địa chất công trình (ĐCCT) là lớp dữ liệu nền thiết yếu trong quy hoạch, thiết kế và thi công xây dựng, đặc biệt trong bối cảnh phát triển đô thị thông minh, khai thác không gian ngầm và chuyển đổi số ngành xây dựng. Tuy nhiên, hiện nay vẫn thiếu một hệ thống phân cấp và tiêu chí phân định địa tầng ĐCCT thống nhất, gây khó khăn trong việc tích hợp, kế thừa và số hóa dữ liệu. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu xây dựng hệ thống phân cấp và bộ tiêu chí phân định địa tầng ĐCCT, phù hợp với điều kiện Việt Nam. Hệ thống phân cấp được đề xuất gồm năm cấp: Loạt thạch học, Phức hệ thạch học - nguồn gốc, Kiểu thạch học, Loại thạch học và Đơn nguyên ĐCCT, cho phép tổ chức và phân loại thể địa chất theo trình tự logic từ tổng quát đến chi tiết. Bộ tiêu chí phân định địa tầng được thiết lập dựa trên các đặc trưng về nguồn gốc, thành phần, trạng thái, tính chất cơ lý và kết quả thống kê tập hợp mẫu. Hệ thống này tạo cơ sở cho việc chuẩn hóa, quản lý và số hóa dữ liệu ĐCCT, đồng thời hỗ trợ hiệu quả cho công tác nghiên cứu và ứng dụng ở các mức độ chi tiết khác nhau. Bài báo cũng đề xuất chỉ dẫn áp dụng vào thực tiễn.

Từ khóa: Địa tầng địa chất công trình; phân cấp địa tầng; thể địa chất; tiêu chí phân định; dữ liệu địa kỹ thuật.

1. Đặt vấn đề

Địa tầng ĐCCT (ĐCCT) đóng vai trò nền tảng trong toàn bộ chu trình quy hoạch - khảo sát - thiết kế - thi công - vận hành công trình xây dựng. Ngoài ra, trong bối cảnh nước ta đang thu hút đầu tư mạnh mẽ, phát triển đô thị hóa và hạ tầng nhanh chóng, thông tin địa tầng ĐCCT còn đặc biệt hữu ích cho công tác chuẩn bị đầu tư. Việc hiểu rõ và định danh đúng địa tầng ĐCCT không chỉ là yêu cầu cơ bản trong khảo sát địa kỹ thuật, mà còn là điều kiện tiên quyết để số hóa thông tin nền móng, đánh giá rủi ro địa kỹ thuật, lựa chọn giải pháp xử lý nền hợp lý và tối ưu hóa chi phí đầu tư.

Khác với phân chia địa tầng trong địa chất, chủ yếu dựa trên tuổi - nguồn gốc và thành phần thạch học, địa tầng ĐCCT cần được phân chia dựa trên các đặc tính xây dựng: thành phần vật chất, trạng thái vật lý và các chỉ tiêu cơ lý. Trong bối cảnh đó, có nhiều hướng tiếp cận phân cấp, phân loại địa tầng đang được sử dụng như hệ thống phân loại theo nguyên tắc thành hệ, hệ thống phân loại theo nguyên tắc ĐCCT và hệ thống phân cấp thạch học theo Hiệp hội Địa chất Công trình và Môi trường Quốc tế (IAEG). Các hệ thống này đều hướng tới mục tiêu thành lập bản đồ ĐCCT.

Trong TCVN 9156:2012 của Việt Nam đã quy định phương pháp đo vẽ bản đồ địa chất công trình tỷ lệ lớn cho công trình thủy lợi. Tiêu chuẩn này có sự kết hợp, kế thừa hai khuynh hướng trên, trong đó nhấn mạnh lựa chọn cấp phân loại đất đá phù hợp với tỷ lệ bản đồ và mức độ khảo sát, được áp dụng cho các công trình thủy lợi quy mô lớn. Tuy nhiên, với các dự án khác, không thành lập bản đồ ĐCCT, việc định danh địa tầng ĐCCT vẫn chưa thống nhất, mang tính chủ quan theo từng đơn vị khảo sát, thiếu chuẩn hóa về tiêu chí kỹ thuật, chưa có tính hệ thống về phân cấp, dẫn đến khó khăn trong việc kế thừa, tích hợp dữ liệu giữa các dự án, đặc biệt ở các đô thị lớn, công trình dạng tuyến.

Thực tiễn cho thấy, một lớp đất nền có thể được mô tả và định danh khác nhau ngay cả khi có đặc tính tương đương (tên đất được gọi theo tiêu chuẩn áp dụng). Trong xu thế phát triển đô thị thông minh và hạ tầng số, địa tầng ĐCCT còn là đầu vào quan trọng cho hệ thống cơ sở dữ liệu không gian (GIS), mô hình hóa thông tin xây dựng (BIM) và mô hình hóa thông tin đô thị (CIM). Việc định danh không đồng nhất, thiếu cấu trúc phân cấp rõ ràng đang là rào cản lớn trong tích hợp và số hóa địa tầng. Đồng thời, nó cũng ảnh hưởng đến việc xây dựng các mô hình học máy phục vụ nhận dạng địa tầng, dự báo nguy cơ và đánh giá rủi ro địa kỹ thuật.

Tại các quốc gia phát triển như Nhật Bản, Đức, Hàn Quốc, Trung Quốc, hệ thống định danh địa tầng ĐCCT đã được thiết lập bài bản, tích hợp chặt chẽ giữa các lớp mô tả hiện trường - chỉ tiêu kỹ thuật - mô hình số, phục vụ thiết kế, dự báo rủi ro và số hóa đô thị. Ở Nhật Bản, hệ thống bản đồ địa tầng đô thị (Urban Geological Map) tại Tokyo đã được triển khai nhằm tích hợp vào quy hoạch metro và khai thác không gian ngầm (GSJ, 2020). Tại Đức, DIN 4023 cung cấp cơ sở phân tầng kỹ thuật đồng bộ với các hệ thống BIM (DIN, 2018). Hàn Quốc và Trung Quốc cũng đã xây dựng cơ sở dữ liệu địa tầng kỹ thuật đô thị phục vụ thiết kế metro và quản lý rủi ro bằng công nghệ AI (Lee & Kim, 2018; Zhao et al., 2019; Li et al., 2020).

Ở Việt Nam, nhiều công trình nghiên cứu đã tập trung phân tích điều kiện ĐCCT, đặc điểm địa tầng và cấu trúc nền đất tại các đô thị lớn - đặc biệt là Hà Nội. Nhóm nghiên cứu của Nguyễn Huy Phương, Nguyễn Văn Phóng và cộng sự (2004) đã tiến hành thu thập, kiểm chứng dữ liệu khảo sát hiện có và đề xuất hệ thống phân chia nền đất Hà Nội thành 26 lớp đất đồng nhất đến thành phần có trạng thái tương đồng. Các nghiên cứu tiếp theo trong giai đoạn 2011-2018 tiếp tục làm rõ tính chất động học và phân chia đất nền theo đặc tính động học (Lê Trọng Thắng và Nguyễn Văn Phóng 2011, 2014; Nguyễn Văn Phóng 2016, 2018). Ngoài ra, nghiên cứu của Tạ Đức Thịnh và Nguyễn Văn Phóng (2016) đã đề xuất hướng tiếp cận sử dụng dữ liệu địa tầng phục vụ thiết kế và quy hoạch không gian ngầm tại khu vực Hà Nội, với trọng tâm là phân loại đất theo mục tiêu xây dựng và phát triển không gian ngầm. Những công trình này cung cấp nền tảng lý luận và dữ liệu thực nghiệm quan trọng, tuy nhiên vẫn thiếu một hệ thống phân cấp và tiêu chí định danh địa tầng ĐCCT có khả năng kế thừa, chuẩn hóa và ứng dụng cho số hóa dữ liệu địa kỹ thuật ở cấp đô thị.

Phạm Văn Tỵ (2020), trên cơ sở lý thuyết hệ thống, đã đề xuất cấu trúc phân cấp các thể địa chất trong nghiên cứu ĐCCT, phân biệt giữa thể địa chất tự nhiên và thể địa chất nhân tạo, đồng thời xác lập các cấp từ thành hệ đến thể đơn đá cấp 3. Hệ thống này được xem là cơ sở cốt lõi để xây dựng hệ phân cấp địa tầng phục vụ quy hoạch và thiết kế công trình, bảo đảm tính đồng nhất và khả năng tích hợp số liệu.

Từ thực tiễn đó, bài báo này tập trung xây dựng hệ thống cơ sở lý thuyết cho việc phân cấp và định danh địa tầng ĐCCT. Trong đó, nội dung nghiên cứu chính là làm rõ khái niệm và cấu trúc địa tầng ĐCCT, đề xuất hệ thống phân cấp địa tầng phù hợp với các cấp độ nghiên cứu - ứng dụng, xây dựng bộ tiêu chí định danh địa tầng, đồng thời đưa ra chỉ dẫn áp dụng vào thực tế. Kết quả nghiên cứu sẽ góp phần hoàn thiện lý thuyết ĐCCT, đồng thời là bước chuẩn bị quan trọng cho việc số hóa và chuẩn hóa dữ liệu ĐCCT.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

Trong khoa học địa chất, *địa tầng* được hiểu là tập hợp các lớp đất đá được hình thành trong một khoảng thời gian nhất định, có tính đồng nhất về thành phần thạch học, điều kiện thành tạo và tuổi địa chất. Các hệ thống phân vị địa tầng như hệ tầng, phụ hệ tầng, … chủ yếu phục vụ mục tiêu nghiên cứu cấu trúc địa chất và lịch sử tiến hóa vỏ Trái đất.

Tuy nhiên, trong lĩnh vực địa chất chuyên ngành có tính ứng dụng cao hơn, khái niệm địa tầng được điều chỉnh để đáp ứng yêu cầu kỹ thuật cụ thể. Ví như địa tầng địa chất thủy văn, các lớp đất đá được phân chia dựa trên tính thấm và khả năng chứa nước. Tương tự, trong ĐCCT, sự phân chia địa tầng không chỉ dựa vào yếu tố thạch học hay nguồn gốc địa chất, mà còn phải hướng đến việc đánh giá hành vi ứng xử của đất đá dưới tác dụng của tải trọng công trình.

2.1 Thể địa chất và phân cấp thể địa chất

Theo quan điểm lý thuyết hệ thống (Phạm Văn Tỵ, 2020), khái niệm *thể địa chất* bao gồm *thể địa chất tự nhiên* và *thể địa chất nhân tạo*. Trong đó, thể địa chất tự nhiên đề cập đến những khối vật chất có đặc điểm cấu trúc, thành phần, nguồn gốc và điều kiện hình thành tương đồng, được phân định bằng ranh giới tự nhiên. Do đó, địa tầng địa chất được hiểu là tập hợp các thể địa chất tự nhiên. Thể địa chất nhân tạo là các đơn vị đất đá được con người phân chia và xác định dựa trên mục đích kỹ thuật hoặc yêu cầu sử dụng, có ranh giới phân chia mang tính quy ước.

Thể địa chất có tính phân cấp. Việc phân cấp thể địa chất là quá trình phân chia các thể địa chất (tập hợp đất đá) thành các cấp độ từ tổng quát đến chi tiết, dựa trên các tiêu chí đồng nhất. Theo Phạm Văn Tỵ (2020), thể địa chất tự nhiên bao gồm các cấp cao như thành hệ, á thành hệ, kiểu nguồn gốc, phức hệ địa tầng - nguồn gốc và thể đơn đá cấp 1; Thể địa chất nhân tạo tương ứng với đơn đá cấp 2 và cấp 3. Đặc điểm phân cấp thể địa chất được tổng hợp trong bảng 1.

Hiện nay, hệ thống phân cấp thể địa chất được áp dụng chủ yếu trong thành lập bản đồ địa chất công trình (ĐCCT), với mục tiêu nhận diện và phân vùng các thể địa chất phục vụ quy hoạch và thiết kế xây dựng. Các hướng tiếp cận phân cấp, phân loại địa tầng được quốc tế và trong nước công nhận đã hình thành cơ sở lý luận cho việc phân định địa tầng ĐCCT, bao gồm:

- *Phân chia theo nguyên tắc thành hệ địa chất,* đại diện bởi hệ thống của G.K. Bondaric, trong đó thể địa chất được phân thành 6 đơn vị từ lớn đến nhỏ: thành hệ địa chất → phức hệ nguồn gốc → phức hệ địa tầng nguồn gốc → kiểu thạch học → dạng đất đá → phụ dạng;

- *Phân loại theo nguyên tắc ĐCCT*, tiêu biểu là hệ thống của E.M. Xergeev, nhấn mạnh đến các đặc trưng xây dựng (thành phần, trạng thái, tính chất cơ lý...) nhằm phục vụ thiết kế công trình. Hệ thống này sau đó được IAEG tiếp nhận, điều chỉnh và chính thức hóa thành một hệ thống gồm 4 đẳng cấp;

- *Hệ thống phân cấp kết hợp của IAEG và UNESCO (1976)*, tích hợp nguyên lý thành hệ và nguyên lý ĐCCT, hình thành cơ sở phân cấp thể địa chất quốc tế được chấp nhận rộng rãi.

Mặc dù cách tiếp cận và tên gọi các cấp phân chia có sự khác biệt giữa các hệ thống, song về bản chất đều tuân theo nguyên tắc phân cấp theo mức độ đồng nhất địa chất và mục đích sử dụng. Trên cơ sở đó, có thể xác lập mối tương đồng giữa các hệ thống phân cấp, làm nền tảng cho việc xây dựng hệ thống phân định địa tầng ĐCCT phù hợp với điều kiện Việt Nam. Bảng 1 trình bày sự đối chiếu tương ứng giữa các cấp phân định trong ba hệ thống nêu trên.

Bảng 1. *Các phương pháp phân cấp thể địa chất*

Lý thuyết hệ thống (Phạm Văn Tỵ, 2020)		Theo nguyên tắc thành hệ (G.K. Bondaric)		Theo IAEG	
Phân cấp thể địa chất	Đặc điểm	Đơn vị phân chia	Đặc điểm	Cấp phân loại	Đặc điểm
Thành hệ địa chất	Được hình thành trong cùng hoàn cảnh kiến tạo và cổ khí hậu.	Thành hệ địa chất	Thể địa chất đồng nhất cộng sinh về nguồn gốc trong quá trình thành tạo	-	-
Á thành hệ	Tập hợp đất đá trải qua cùng quá trình địa chất, liên kết cộng sinh chặt chẽ hơn thành hệ.			-	-
Kiểu nguồn gốc (Phức hệ nguồn gốc)	Tập hợp đất đá có cùng nguồn gốc và hoàn cảnh vật lý - địa lý.	Phức hệ nguồn gốc	Thể địa chất đồng nhất về nguồn gốc thành tạo	Loạt thạch học	Cùng nguồn gốc, có đặc trưng thạch học tổng quát, ổn định
Phức hệ địa tầng - nguồn gốc	Tập hợp các thể đơn đá cấp 1 có cùng nguồn gốc và	Phức hệ địa tầng - nguồn gốc	Thể địa chất đồng nhất cả về tuổi địa chất và nguồn gốc	Phức hệ thạch học	Tập hợp các kiểu thạch học tương đồng về thành phần

Lý thuyết hệ thống (Phạm Văn Ty, 2020)		Theo nguyên tắc thành hệ (G.K. Bondaric)		Theo IAEG	
	tuổi địa chất.		thành tạo		và nguồn gốc
Thể đơn đá cấp 1	Tập hợp đất đá đồng nhất về thành phần khoáng vật hoặc thành phần hạt.	Kiểu thạch học	Thể địa chất đồng nhất về thành phần thạch học	Kiểu thạch học	Các thể địa chất có thành phần, kiến trúc, cấu tạo tương tự
Thể đơn đá cấp 2	Tập hợp đất đá đồng nhất về tiêu chí phân loại, giá trị chỉ tiêu trong khoảng quy định.	Dạng đất đá	Thể địa chất đồng nhất về thành phần thạch học, kiến trúc, cấu tạo	Loại thạch học	Thể địa chất đồng nhất cả về đặc điểm thạch học và trạng thái vật lý
Thể đơn đá cấp 3	Tập hợp đất đá đồng nhất về thành phần, trạng thái, với tính đồng nhất thống kê.	Phụ dạng	Thể địa chất đồng nhất về thành phần thạch học, kiến trúc, cấu tạo, trạng thái		

2.2. Tiếp cận hệ thống phân cấp trong phân định địa tầng ĐCCT

Trong lĩnh vực ĐCCT, mục tiêu nghiên cứu ĐCCT là phục vụ quy hoạch, quản lý rui ro xây dựng, thiết kế và thi công công trình. Tùy theo mục tiêu nghiên cứu mà mức độ đồng nhất, mức độ chi tiết trong phân chia thể địa chất sẽ khác nhau. Do đó, khái niệm *địa tầng ĐCCT* được hình thành như một đơn vị phân chia kỹ thuật, phản ánh mức độ đồng nhất nào đó về thành phần, trạng thái và tính chất cơ lý của đất đá. Khái niệm địa tầng ĐCCT theo quan điểm lý thuyết hệ thống được hiểu là hệ thống (tập hợp) các thể địa chất nhân tạo (các lớp đất đá được phân định quy ước), được phân định dựa trên các tiêu chí kỹ thuật đặc trưng (tính chất xây dựng), có mức độ đồng nhất phù hợp với mục tiêu nghiên cứu, và được tổ chức theo một hệ thống phân cấp từ tổng quát đến chi tiết.

Nghiên cứu địa chất công trình là chuỗi hoạt động khảo sát, phân tích, đánh giá và phân chia các điều kiện địa chất công trình nhằm phục vụ hiệu quả cho công tác quy hoạch không gian xây dựng, thiết kế kết cấu công trình, và lựa chọn giải pháp xử lý nền móng phù hợp. Mỗi nhiệm vụ được xác định tùy theo cấp độ quy hoạch, giai đoạn thiết kế và mức độ chi tiết yêu cầu của dự án. Ở mức độ tổng quát, nghiên cứu ĐCCT bao gồm: xác định và cung cấp thông tin về điều kiện ĐCCT; phân vùng điều kiện ĐCCT và dự báo, đánh giá các rủi ro cho hoạt động xây dựng. Ở mức độ chi tiết, thông tin ĐCCT là yêu cầu bắt buộc cho đề xuất và thiết kế, thi công giải pháp nền móng. Mỗi loại hình khảo sát ĐCCT đều yêu cầu một mức độ (tỷ lệ) nghiên cứu chi tiết phù hợp với mục tiêu, nhiệm vụ nghiên cứu (bảng 2).

Trong điều kiện Việt Nam, các loại hình khảo sát ĐCCT được hệ thống hóa và phân chia theo mức độ từ tổng quát đến chi tiết thành 5 cấp độ (xem Bảng 2), tương ứng với từng mức độ là yêu cầu cụ thể về mức độ đồng nhất của thể địa chất. Cách tiếp cận này là cơ sở quan trọng để xây dựng hệ thống phân chia địa tầng ĐCCT, đồng thời xác lập các tiêu chí phân định phù hợp với từng mục tiêu nghiên cứu.

Bảng 2. *Các loại hình khảo sát ĐCCT và yêu cầu tỷ lệ nghiên cứu và độ đồng nhất*

STT	Các loại hình khảo sát ĐCCT	Mục tiêu, nhiệm vụ nghiên cứu và yêu cầu mức độ chi tiết	Mức độ đồng nhất của thể địa chất
1	Khảo sát, đo vẽ ĐCCT cho quy hoạch vùng, miền	Khoanh vùng sơ bộ điều kiện ĐCCT, định hướng phát triển không gian xây dựng. Lập bản đồ ĐCCT tỷ lệ nhỏ 1:100.000 - 1:200.000	Đồng nhất cộng sinh về nguồn gốc và đặc trưng thạch học tổng quát.
2	Khảo sát, đo vẽ ĐCCT cho quy hoạch tỉnh/thành phố	Cung cấp cơ sở dữ liệu ĐCCT phục vụ quy hoạch xây dựng đô thị và hạ tầng kỹ thuật cấp vùng, cấp đô thị. Lập bản	Đồng nhất về thành phần, tuổi và nguồn gốc

STT	Các loại hình khảo sát ĐCCT	Mục tiêu, nhiệm vụ nghiên cứu và yêu cầu mức độ chi tiết	Mức độ đồng nhất của thể địa chất
		đồ ĐCCT tỷ lệ trung bình 1:25.000 - 1:50.000	
3	Khảo sát, đo vẽ ĐCCT cho lập dự án khả thi khu đô thị, tuyến giao thông, công trình thủy công	Đánh giá điều kiện địa chất công trình cho khu vực xây dựng, cấp số liệu cho lập báo cáo tiền khả thi và lựa chọn phương án tuyến, vị trí xây dựng. Lập bản đồ ĐCCT tỷ lệ lớn 1:5.000 - 1:10.000	Đồng nhất về thành phần thạch học, kiến trúc, cấu tạo.
4	Khảo sát, đo vẽ ĐCCT cho thiết kế công trình đầu mối, đập thủy điện; thiết kế cơ sở các công trình đơn lẻ (nhà cao tầng, cầu, cống, …)	Lập bản đồ ĐCCT tỷ lệ chi tiết 1:500 - 1:2.000 (công trình thủy công); Đánh giá điều kiện ĐCCT tại khu vực xây dựng, cung cấp số liệu cho thiết kế cơ sở.	Đồng nhất về tiêu chí phân loại, tương đồng về trạng thái, giá trị chỉ tiêu trong khoảng quy định.
5	Khảo sát ĐCCT cho thiết kế kỹ thuật - thi công nền móng công trình	Cung cấp số liệu cho thiết kế kỹ thuật - thi công với mức độ chi tiết đến đồng nhất thống kê (rất chi tiết)	Đồng nhất về thành phần, trạng thái, chỉ tiêu cơ lý đồng nhất thống kê

Ghi chú: Cơ sở lựa chọn tỷ lệ bản đồ phù hợp với loại hình khảo sát dựa trên mức độ chi tiết cần thiết cho từng giai đoạn nghiên cứu: từ khảo sát tổng quát phục vụ quy hoạch vùng (tỷ lệ nhỏ), đến khảo sát chi tiết phục vụ thiết kế kỹ thuật và thi công (tỷ lệ lớn).

Hệ thống phân cấp và tiêu chí phân chia địa tầng ĐCCT cần được xây dựng dựa trên sự kết hợp giữa lý thuyết hệ thống, quy phạm hiện hành và kế thừa phù hợp các nghiên cứu trước.

3. Xây dựng hệ thống phân cấp và tiêu chí phân định địa tầng ĐCCT

3.1 Hệ thống phân cấp và tiêu chí phân định

Trên cơ sở tổng hợp và phân tích đã trình bày tại mục 2, có thể nhận thấy rằng hệ thống phân cấp thể địa chất trong nghiên cứu địa chất công trình (ĐCCT) chủ yếu được áp dụng trong các nhiệm vụ thành lập bản đồ địa chất công trình. Đối với các dự án hoặc nhiệm vụ nghiên cứu không yêu cầu thành lập bản đồ, việc phân chia thể địa chất được thực hiện linh hoạt, phù hợp với mục tiêu cụ thể của từng nhiệm vụ, bao gồm loại hình công trình và giai đoạn thiết kế.

Việc phân chia và định danh địa tầng ĐCCT được thực hiện trên cơ sở hệ thống phân cấp thể địa chất theo mục tiêu và yêu cầu nghiên cứu. Trong đó, nguyên tắc đồng nhất về đặc điểm nguồn gốc, thành phần, cấu trúc, trạng thái và tính chất xây dựng của đất đá là yếu tố cốt lõi để thiết lập ranh giới các đơn vị địa tầng. Hệ thống phân định địa tầng này là sự kết hợp giữa phân vị địa tầng địa chất vơi cách phân định địa tầng cho mục đích xây dựng.

Để đảm bảo tính khoa học và khả năng ứng dụng thực tiễn, hệ thống phân cấp địa tầng ĐCCT được xây dựng dựa trên các nguyên tắc cơ bản sau:

- Nguyên tắc đồng nhất: Mỗi đơn vị phân cấp phải bảo đảm tính đồng nhất nhất định về đặc điểm phân loại hoặc đặc điểm địa chất công trình.

- Nguyên tắc kế thừa địa tầng địa chất: nhằm thể hiện bản chất địa chất, các cấp phân định từ cấp 1 đến cấp 3 bám sát hệ thống phân vị địa tầng truyền thống, bảo toàn thông tin về nguồn gốc, thành phần và tuổi địa chất.

- Nguyên tắc phù hợp với mục tiêu sử dụng: phản ánh đặc trưng kỹ thuật cần thiết cho mục tiêu sử dụng. Việc phân định được triển khai theo từng cấp độ từ tổng quát đến chi tiết, đáp ứng yêu cầu của từng giai đoạn nghiên cứu và từng loại hình công trình.

- Nguyên tắc ứng dụng thực tiễn: cho phép mã hóa và tích hợp trong cơ sở dữ liệu số hóa, tạo điều kiện kết nối, phân tích và kế thừa dữ liệu địa chất công trình.

Từ các nguyên tắc nêu trên, hệ thống phân cấp và tiêu chí phân định địa tầng địa chất công trình được trình bày tổng hợp trong Bảng 3.

Bảng 3. *Hệ thống phân cấp và tiêu chí phân định địa tầng ĐCCT*

Đơn vị phân cấp	Tiêu chí đồng nhất	Tiêu chí phân định	Ký hiệu và minh họa	Mục tiêu ứng dụng
Cấp 1: Loạt thạch học	Đồng nhất cộng sinh về nguồn gốc và đặc trưng thạch học tổng quát.	Theo hệ tầng địa chất	Theo hệ tầng địa chất: Hệ tầng Hải Hưng (Q_2^{1-2} *hh*)	Quy hoạch vùng, miền
Cấp 2: Phức hệ thạch học - nguồn gốc	Đồng nhất về thành phần, tuổi và nguồn gốc	Theo phụ hệ tầng địa chất	Theo phụ hệ tầng địa chất: Phụ hệ tầng Hải Hưng dưới ($lbQ_2^{1-2}hh_1$)	Quy hoạch tỉnh/thành phố
Cấp 3: Kiểu thạch học	Đồng nhất về thành phần thạch học, kiến trúc, cấu tạo.	Theo tập thạch học	Theo số La Mã : $aQ_1^3vp_1$ - I (Tập I)	Lập dự án khả thi khu đô thị, tuyến giao thông, công trình thủy công
Cấp 4: Loại thạch học	Đồng nhất về tiêu chí phân loại, tương đồng về trạng thái, giá trị chỉ tiêu trong khoảng quy định	Theo phân loại đất và trạng thái trong ĐCCT	Theo chữ số thập phân: $aQ_1^3vp_1$ - I.1 (Tập I, lớp 1)	Thiết kế cơ sở công trình đơn lẻ (nhà cao tầng, cầu, cống, thủy công)
Cấp 5: Đơn nguyên ĐCCT	Đồng nhất về thành phần, trạng thái, đồng nhất thống kê về chỉ tiêu cơ lý	Theo thống kê tập hợp mẫu	Theo chữ cái thường: $aQ_1^3vp_1$ - I.1.a (Tập I, lớp 1, phụ lớp a)	Thiết kế kỹ thuật - thi công nền móng công trình

3.2 Thông tin dùng trong phân định địa tầng ĐCCT

Việc phân định các đơn vị địa tầng địa chất công trình cần dựa trên hệ thống thông tin đồng bộ, được thu thập từ nhiều nguồn khác nhau như: tài liệu khảo sát thực địa, kết quả thí nghiệm trong phòng và hiện trường, bản đồ địa chất - địa chất công trình, cùng các hồ sơ địa chất nền đã có.

Cơ sở để xác định thông tin dùng cho phân định địa tầng địa chất công trình được xây dựng trên nguyên tắc phân tích các tiêu chí phân định địa tầng ở từng cấp, kết hợp với mục tiêu sử dụng thông tin trong từng giai đoạn khảo sát, thiết kế và thi công công trình. Theo đó, mỗi cấp phân định đòi hỏi mức độ thông tin đặc trưng khác nhau, phản ánh yêu cầu về tính đồng nhất của thể địa chất, từ nguồn gốc - thành phần - trạng thái cho đến các chỉ tiêu cơ lý.

Thông tin được tổ chức theo từng cấp phân định, đảm bảo tính logic trong hệ thống phân cấp đã trình bày tại mục 3.1 và tạo nền tảng để chuẩn hóa quy trình thu thập, xử lý, lưu trữ và tích hợp dữ liệu trong hệ thống cơ sở dữ liệu địa chất công trình. Hệ thống thông tin cho phân định địa tầng ĐCCT được tổng hợp trong bảng 4.

Bảng 4. *Hệ thống thông tin cần thiết cho phân định địa tầng ĐCCT theo từng cấp*

Đơn vị phân cấp	Thông tin dùng cho phân định địa tầng	Chỉ dẫn thu thập thông tin
Cấp 1: Loạt thạch học	- Hệ tầng địa chất khu vực - Tuổi địa chất (tương đối hoặc tuyệt đối) - Đặc điểm thạch học tổng quát - Quan hệ phân tầng, cấu trúc địa chất	- Tên và ký hiệu hệ tầng - Tuổi địa chất và nguồn gốc - Đặc điểm thạch học tổng quát - Bản đồ địa chất khu vực (≥1:100.000) - Hồ sơ địa chất nền (địa chất khu vực)
Cấp 2: Phức hệ thạch học - nguồn gốc	- Phân tích phụ hệ tầng - Nguồn gốc thạch học - Tuổi và thành phần vật chất - Phân bố không gian các phụ hệ	- Tên, ký hiệu phụ hệ - Nguồn gốc và đặc điểm thạch học đặc trưng - Ranh giới: rõ/rối, chuyển tiếp - Bản đồ và mặt cắt liên kết
Cấp 3: Kiểu thạch học	- Kiểu đất/đá chủ yếu - Cấu trúc địa tầng (phân lớp, thấu kính) - Kiến trúc, hình thái lớp - Quan hệ không gian	- Thành phần hạt, khoáng vật - Dạng lớp: xen kẹp, không đồng nhất… - Đặc điểm phân bố - Dữ liệu mô tả từ hố khoan, hố đào - Mặt cắt địa chất công trình

Đơn vị phân cấp	Thông tin dùng cho phân định địa tầng	Chỉ dẫn thu thập thông tin
Cấp 4: Loại thạch học	- Phân loại đất theo tiêu chuẩn kỹ thuật - Trạng thái và tính chất cơ lý cơ bản của đất; - Đặc điểm phân bố	- Mô tả hiện trường, kết quả thí nghiệm hiện trường - Bảng tổng hợp chỉ tiêu cơ lý, hình trụ và mặt cắt ĐCCT
Cấp 5: Đơn nguyên ĐCCT	- Phân loại đất và trạng thái theo tiêu chuẩn kỹ thuật - Các giá trị thống kê chỉ tiêu cơ lý - Vị trí mẫu trong địa tầng	- Thành phần hạt và chỉ số dẻo, độ sệt và kết quả thí nghiệm hiện trường với số lượng mẫu đủ thống kê - Bảng tổng hợp chỉ tiêu cơ lý có chỉnh lý thống kê: trị tiêu chuẩn, độ lệch chuẩn, hệ số biến đổi, biểu đồ phân phối - Hình trụ, mặt cắt ĐCCT có thể hiện vị trí mẫu và kết quả thí nghiệm hiện trường

3.3 Chỉ dẫn phân cấp và định danh địa tầng địa chất công trình

Việc định danh địa tầng địa chất công trình là bước then chốt trong quá trình phân tích, đánh giá và sử dụng dữ liệu địa chất phục vụ các mục tiêu nghiên cứu, thiết kế và xây dựng công trình. Hoạt động này không chỉ nhằm nhận diện và phân loại các lớp đất đá theo các đặc trưng địa chất - kỹ thuật, mà còn đóng vai trò kết nối giữa hệ thống phân cấp địa tầng (trình bày tại Mục 3.1) với các thông tin, tiêu chí phân định thu thập được (trình bày tại Mục 3.2).

Dựa trên các nguyên lý được xác lập trong Mục 2 về đặc điểm cấu trúc địa tầng và phân loại thể địa chất, việc định danh cần được thực hiện theo một quy trình rõ ràng, có kiểm soát, đảm bảo đồng bộ về thuật ngữ, mã hiệu, phương pháp mô tả và hệ quy chiếu dữ liệu. Đây là cơ sở để bảo đảm tính thống nhất trong mô hình hóa, phân tích và tích hợp dữ liệu địa chất công trình phục vụ thiết kế, quy hoạch và quản lý kỹ thuật.

Quy trình định danh địa tầng địa chất công trình đề xuất trong nghiên cứu này gồm các bước cơ bản sau:

- Bước 1: Xác định mục tiêu phân định và cấp phân loại phù hợp:

+ Làm rõ yêu cầu của nhiệm vụ: cấp quy hoạch, giai đoạn khảo sát, yêu cầu kỹ thuật công trình.

+ Xác định cấp phân định cần áp dụng (từ cấp 1 đến cấp 5) tương ứng với độ chi tiết và mức độ đồng nhất yêu cầu.

- Bước 2: Tổng hợp, xử lý và phân tích dữ liệu ĐCCT:

+ Thu thập thông tin hiện có từ các nguồn tài liệu địa chất, địa chất thủy văn, ĐCCT, bản đồ nền khu vực và kết quả khảo sát ĐCCT của dự án.

+ Đảm bảo thông tin phục vụ phân định đáp ứng các nhóm tiêu chí: nguồn gốc - thành phần - cấu trúc - trạng thái - đặc trưng cơ lý - đặc trưng thống kê.

+ Trường hợp thiếu dữ liệu, cần bổ sung khảo sát, thí nghiệm phù hợp với cấp phân định.

- Bước 3: Nhận diện và phân chia các lớp địa tầng:

+ Phân tích sự biến đổi của các thông số đặc trưng theo chiều sâu và không gian phân bố.

+ Xác định các mặt ranh giới giữa các lớp dựa trên sự thay đổi rõ rệt về một hoặc nhiều tiêu chí phân định đã xác lập.

- Bước 4: Định danh đơn vị địa tầng:

+ Áp dụng hệ thống mã hóa địa tầng theo cấp: sử dụng ký hiệu chữ số và chữ cái đại diện cho loại đất, trạng thái, nguồn gốc hoặc đơn vị địa chất tương ứng.

+ Bảo đảm định danh phản ánh được đặc trưng ĐCCT chính yếu và nhất quán trong toàn bộ khu vực nghiên cứu.

+ Kết hợp biểu diễn định danh trên mặt cắt địa tầng, bản đồ phân vùng hoặc mô hình số nếu cần.

- *Bước 5: Kiểm tra tính đồng nhất và hợp lý*

+ Đối chiếu với các tiêu chí của hệ thống phân cấp: đơn vị định danh phải đảm bảo tính đồng nhất nội tại, phân biệt được ranh giới với các đơn vị lân cận.

+ So sánh với dữ liệu từ các hố/khoan khác trong khu vực để đánh giá tính liên tục hoặc phân dị.

- *Bước 6: Ghi nhận và lưu trữ thông tin định danh*

+ Lập bảng định danh kèm theo giải thích đầy đủ về đặc điểm và cơ sở phân định.

+ Tích hợp thông tin vào cơ sở dữ liệu ĐCCT, mô hình số hoặc bản đồ chuyên đề nếu phục vụ cho các ứng dụng chuyên sâu.

Các yêu cầu cần đảm bảo trong quá trình định danh bao gồm:

- Đảm bảo tính minh bạch: mỗi đơn vị địa tầng được định danh phải có đầy đủ cơ sở dữ liệu và tiêu chí phân định rõ ràng;

- Đảm bảo tính kế thừa: định danh cần bám sát phân vị địa tầng địa chất và hệ thống phân loại truyền thống, đồng thời bổ sung thông tin địa kỹ thuật phù hợp mục tiêu sử dụng;

- Đảm bảo tính linh hoạt và ứng dụng thực tiễn: có khả năng cập nhật mở rộng, tương thích với các mô hình số và hệ thống quản lý dữ liệu hiện đại.

3.4 Thảo luận

Kết quả nghiên cứu đã xây dựng được hệ thống phân cấp và bộ tiêu chí phân định địa tầng ĐCCT có tính khoa học và thực tiễn. Hệ thống phân cấp gồm 5 cấp, được hình thành dựa trên nguyên tắc đồng nhất về nguồn gốc và đặc trưng địa chất công trình, đồng thời là sự kết hợp giữa lý thuyết hệ thống, nguyên tắc thành hệ trong địa tầng học và các quy phạm khảo sát hiện hành, có điều chỉnh để phù hợp với điều kiện và yêu cầu ứng dụng tại Việt Nam.

Hệ thống phân cấp và tiêu chí đề xuất có thể được vận dụng linh hoạt trong nhiều quy mô và mục tiêu nghiên cứu ĐCCT khác nhau, từ khảo sát cấp vùng, đô thị, khu đô thị cho đến công trình dạng tuyến hoặc công trình cụ thể. Với mỗi loại hình và mục tiêu khảo sát, một cấp phân vị sẽ được lựa chọn để phát huy vai trò trong tiến trình phân cấp từ tổng quát đến chi tiết, đảm bảo tính liên kết logic giữa các cấp độ.

Trong quá trình phân định địa tầng, nghiên cứu nhấn mạnh và tuân thủ bốn nguyên tắc cơ bản là nguyên tắc đồng nhất, nguyên tắc kế thừa, nguyên tắc phù hợp, nguyên tắc thực tiễn. Như vậy, hệ thống phân cấp và tiêu chí đề xuất không chỉ mang tính kế thừa, khoa học mà còn thể hiện tính ứng dụng rộng rãi, có khả năng tích hợp vào cơ sở dữ liệu và mô hình hóa số, phục vụ hiệu quả cho công tác quy hoạch, thiết kế và thi công công trình trong điều kiện Việt Nam.

4. Kết luận và kiến nghị

Trên cơ sở lý thuyết hệ thống và kết quả tổng hợp các hệ thống phân cấp, phân loại thể địa chất, bài báo đã đề xuất hệ thống phân cấp và tiêu chí phân định địa tầng ĐCCT phù hợp với các nhiệm vụ nghiên cứu ĐCCT. Cụ thể:

- Hệ thống phân cấp địa tầng ĐCCT được xác lập theo nguyên tắc từ tổng quát đến chi tiết, bao gồm 5 cấp: Cấp 1 - Loạt thạch học, Cấp 2 - Phức hệ thạch học - nguồn gốc, Cấp 3 - Kiểu thạch học, Cấp 4 - Loại thạch học và Cấp 5 - Đơn nguyên ĐCCT. Cấu trúc phân cấp này vừa kế thừa hệ thống phân vị địa tầng truyền thống, vừa đảm bảo tính khả thi khi tích hợp dữ liệu khảo sát ĐCCT theo các mức độ chi tiết khác nhau.

- Các tiêu chí phân định địa tầng được xác lập dựa trên tổ hợp các chỉ tiêu về nguồn gốc, thành phần, trạng thái, tính chất cơ lý và kết quả thống kê tập hợp mẫu, đồng thời có xét đến yêu cầu về mức độ đồng nhất và mục đích ứng dụng. Tiêu chí này có khả năng áp dụng linh hoạt từ giai đoạn khảo sát quy hoạch đến thiết kế kỹ thuật công trình cụ thể.

- Hệ thống phân cấp và tiêu chí đề xuất không chỉ phục vụ hiệu quả công tác lập bản đồ ĐCCT

và thiết kế nền móng, mà còn hướng tới tích hợp cơ sở dữ liệu số, hỗ trợ mô hình hóa và quản lý và làm giàu dữ liệu không gian.

Trên cơ sở kết quả nghiên cứu này, một số nội dung được đề xuất như sau: cần triển khai thí điểm áp dụng hệ thống phân cấp và tiêu chí phân định địa tầng ĐCCT tại một số khu vực trọng điểm (như Hà Nội, TP. Hồ Chí Minh, Đồng bằng sông Cửu Long, …) nhằm đánh giá tính khả thi và hiệu quả thực tiễn của hệ thống đề xuất; đề xuất xây dựng quy trình kỹ thuật và hướng dẫn áp dụng hệ phân cấp địa tầng ĐCCT trong các giai đoạn khảo sát - thiết kế công trình, gắn với hệ thống tiêu chuẩn, quy chuẩn kỹ thuật hiện hành; Trên cơ sở hệ thống phân cấp và phân định địa tầng ĐCCT, cần nghiên cứu phát triển cơ sở dữ liệu địa tầng ĐCCT dạng số, kết hợp các công cụ trí tuệ nhân tạo và mô hình hóa số để nâng cao hiệu quả dữ liệu ĐCCT.

Tài liệu tham khảo

Nguyễn Huy Phương, Nguyễn Văn Phóng và nnk. (2004). Thu thập, kiểm chứng các tài liệu đã có, nghiên cứu bổ sung lập bản đồ phân vùng đất yếu Hà Nội phục vụ phát triển bền vững thủ đô. Đề tài trọng điểm TP. Hà Nội, mã số: TC-ĐT/06-02-3.

Nguyễn Huy Phương, Trần Thương Bình, Nguyễn Văn Phóng và nnk. (2011). Nghiên cứu hiện tượng cố kết động và biến đổi độ bền của đất nền Hà Nội dưới tác động của tải trọng động nhằm hoàn thiện hệ thống thông tin địa kỹ thuật phục vụ cho phát triển bền vững và đề phòng tai biến. Đề tài mã số: 01C-04/08-2007-2.

Lê Trọng Thắng, Nguyễn Văn Phóng và nnk. (2014). Nghiên cứu tính chất cơ học động của một số loại đất nền khu vực Hà Nội. Đề tài Bộ GD&ĐT, mã số: B2012-02-07.

Nguyễn Văn Phóng. (2016). Nghiên cứu tính chất cơ học của trầm tích Đệ Tứ phân bố ở khu vực Hà Nội dưới tác dụng của tải trọng động (Luận án Tiến sĩ kỹ thuật địa chất). Trường Đại học Mỏ - Địa chất.

Nguyễn Văn Phóng. (2018). Research on characteristics of cyclic deformation phases of soils distributed in urban area Hanoi for seismic design. Proceedings of the International Conference VietGeo2018.

Nguyễn Văn Phóng. (2018). Nghiên cứu phân chia cấu trúc nền khu vực Hà Nội theo tính chất động học phục vụ thiết kế kháng chấn. Hội nghị toàn quốc Khoa học Trái đất và Tài nguyên với phát triển bền vững (ERSD 2018).

Nguyễn Viết Tình. (2001). Đặc tính ĐCCT các thành tạo trầm tích Hôlôxen dưới - giữa nguồn gốc hồ - đầm lầy phụ tầng Hải Hưng dưới (lbQIV1-2hh1). Luận án Tiến sĩ địa chất, Hà Nội.

Tạ Đức Thịnh & Nguyễn Văn Phóng. (2016). Study in engineering geological conditions for underground development in Hanoi. Proceedings of Geotec Hanoi 2016.

Geological Survey of Japan (GSJ). (2020). Urban geological map of Tokyo and surrounding areas. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST). https://gbank.gsj.jp/urbangeo/index-e.html

Deutsches Institut für Normung. (2018). DIN 4023: Geotechnical investigations for civil engineering - Representation of soil and rock in drawings. Berlin: DIN.

Lee, J. H., & Kim, S. H. (2018). Development of a 3D geological model using borehole data and machine learning for urban subsurface mapping in Seoul. Journal of the Korean Geo-Environmental Society, 19(3), 45-53.

Zhao, Y., Li, H., & Zhang, D. (2019). Engineering geological zoning for subway construction in Shanghai based on borehole data and GIS. Engineering Geology, 254, 80-91. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.03.008

Li, X., Wang, Y., & Chen, R. (2020). Urban geotechnical information system for metro design and risk management in China. Tunnelling and Underground Space Technology, 99, 103332. https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103332

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM). (2016). Subsurface Information System of Seoul.

V.Đ. Lômtađze, 1983. Địa chất công trình Chuyên môn, Nhà xuất bản Đại học và Trung học chuyên nghiệp, Hà Nội.

Study on Developing a Classification System and Delineation Criteria for Engineering Geological Stratigraphy

Nguyen Van Phong[1,3*], Bui Truong Son[1,3], Bui Van Binh[1,3], Nguyen Song Thanh[2], Nguyen Tien Dung[2]

[1] *Hanoi University of Mining and Geology (HUMG)*

[2] *Institute for Foundations and Underground Engineering*

[3] *Engineering Geology and Geoenvironment Research Group (EEG)*

* *Corresponding author: Email: nguyenvanphong.dcct@humg.edu.vn*

Abstract

Engineering geological stratigraphy is a fundamental data layer essential for urban planning, design, and construction, particularly in the context of smart city development, underground space utilization, and digital transformation in the construction sector. However, a unified classification system and delineation criteria for engineering geological stratigraphy are currently lacking, posing challenges for data integration, inheritance, and digitalization. This paper presents the results of a study aimed at developing a classification system and delineation criteria tailored to the geological and engineering conditions of Vietnam. The proposed hierarchical system comprises five levels: Lithological Series, Lithological-Genetic Complex, Lithological Type, Lithological Subtype, and Engineering Geological Unit. This system enables a logical organization and classification of geological bodies from general to detailed levels. The delineation criteria are established based on characteristics such as origin, composition, state, physical-mechanical properties, and statistical analysis of sample datasets. The system provides a foundation for standardizing, managing, and digitalizing engineering geological data and supports practical applications and research at various levels of detail. The paper also offers recommendations for applying the proposed system in engineering geological surveys and design practices.

Keywords: engineering stratigraphy, stratigraphic classification, lithological unit, classification criteria, geotechnical database.

NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG LŨ BÙN ĐÁ TẠI TRÀ LENG, THÀNH PHỐ ĐÀ NẴNG BẰNG PHẦN MỀM IRIC - MORPHO 2DH

Vũ Văn Kiên[1*], Nguyễn Châu Lân[2], Đỗ Tuấn Nghĩa[1]
[1]Khoa Công trình, Trường Đại học Thủy Lợi
[2]Khoa Công trình, Trường Đại học Giao thông Vận tải
**Tác giả liên hệ: Email: kienvuvan@tlu.edu.vn*

Tóm tắt

Tai biến lũ bùn đá xảy ra tại nóc Ông Đề, thôn 1, xã Trà Leng - Thành phố Đà Nẵng (tỉnh Quảng Nam cũ) vào ngày 28/10/2020 gây thiệt hại lớn về người và tài sản, dòng lũ bùn đá đã san phẳng 14 nóc nhà khiến 53 người bị vùi lấp, trong đó 34 người sống sót và bị thương, 6 người chết, còn 13 nạn nhân mất tích. Nghiên cứu này tập trung mô phỏng quá trình vận chuyển, lắng đọng của dòng chảy lũ bùn đá và sự phân bố theo phương ngang của độ sâu, vận tốc dòng lũ bùn đá tối đa sử dụng phần mềm iRIC - Morpho2DH. Phương pháp thí nghiệm hiện trường bao gồm khảo sát địa hình bằng UAV, khảo sát địa chất bằng khoan khảo sát và lấy mẫu tại vị trí vách trượt được thực hiện. Đồng thời thí nghiệm trong phòng được tiến hành nhằm xác định các chỉ tiêu cơ lý cơ bản của đất, đá. Kết quả mô phỏng số và thực tế hiện trường có sự thống nhất, dòng chảy lũ bùn đá bị chặn tại vị trí co hẹp cách 0,23km tạo thành đập dâng tạm thời, khi đập dâng bị phá hủy khiến vận tốc tăng nhanh đến cực đại đạt khoảng 13m/s, chiều sâu dòng lũ bùn đá tính toán lớn nhất đạt hơn 8,0m.

Từ khóa: Lũ bùn đá; trượt lở; lượng mưa tích lũy; UAV; phần mềm iRIC - Morpho2DH.

1. Đặt vấn đề

Lũ bùn đá (LBĐ) là một trong những tai biến gây phá hủy và thiệt hại lớn nhất cho người và cơ sở hạ tầng [6, 7, 9-12, 14]. Trên thế giới có ba phương pháp nghiên cứu về dòng chảy chính và phạm vi ảnh hưởng tới hạ lưu của lũ bùn đá thường sử dụng đơn lẻ hoặc tổng hợp các phương pháp sau: (1) phương pháp phân tích số; (2) phương pháp khảo sát, đánh giá, quan trắc tại hiện trường; (3) phương pháp sử dụng công cụ GIS. Trong đó, phần lớn các nhà nghiên cứu sử dụng phương pháp số để mô hình lũ bùn đá và đánh giá lại thông qua quan trắc hiện trường hoặc GIS. Sau khi được kiểm chứng, mô hình số sẽ được sử dụng để phân tích ảnh hưởng của các yếu tố khác nhau tới sự hình thành và tác động của dòng lũ bùn đá. Qua đó, cơ chế và phạm vi phá hoại của dòng lũ bùn đá có thể được đề xuất cho từng vùng nghiên cứu cụ thể.

Tuy nhiên, do thời gian xảy phát lũ bùn đá rất nhanh trong thời gian ngắn, các công thức thực nghiệm cũng không thể đưa ra nhận định chính xác đối với các vùng địa lý phức tạp, ngay cả đối với thứ tự độ lớn. Một phương pháp ưu việt để có được thông tin cần thiết là sử dụng mô phỏng số.

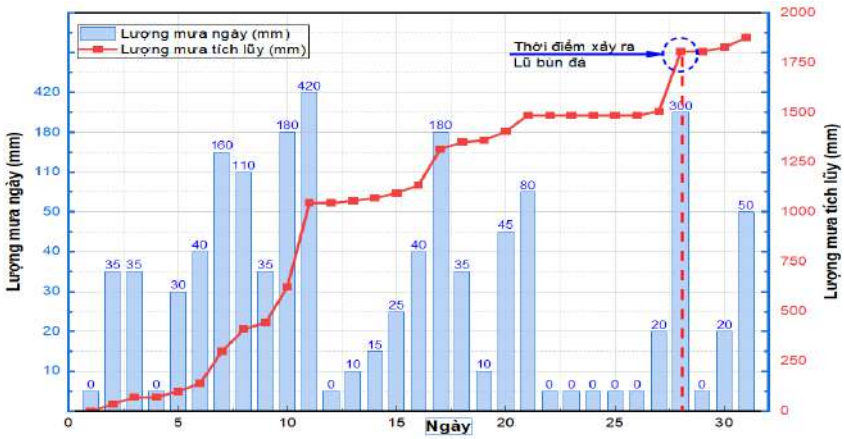
2. Khu vực nghiên cứu

Thành phố Đà Nẵng (khu vực Quảng Nam cũ) nằm ở miền Trung Việt Nam, là một khu vực có địa hình đa dạng với nhiều dãy núi cao, sông suối chằng chịt và lượng mưa lớn, đặc biệt trong mùa mưa bão [1]. Điều này đã khiến khu vực trở thành một trong những điểm nóng về nguy cơ trượt lở và lũ bùn đá. Địa hình khu vực đồi núi thường có độ dốc lớn, các sườn núi có góc dốc trên 30 độ. Ngoài ra, những khu vực có độ cao trên 800m với thảm thực vật thưa thớt càng tăng thêm nguy cơ do sự không ổn định của lớp đất bề mặt. Địa chất có lớp phủ phong hóa dày, đá gốc nứt nẻ và phong hóa mạnh.

Lũ bùn đá xảy ra tại Trà Leng gây ra hậu quả nghiêm trọng khiến 53 người bị vùi lấp, trong đó 34 người sống sót và bị thương, 6 người chết, còn 13 nạn nhân mất tích. Về hạ tầng: 14 ngôi nhà bị chôn vùi hoàn toàn dưới bùn đá, Đường bê tông thôn xóm và cầu treo tiếp cận xã Trà Leng bị tê liệt, cô lập khu vực nhiều ngày, điểm trường và trạm y tế thôn 1 hư hỏng nặng, điện, nước, viễn thông bị gián đoạn.

Hình 1. Lũ bùn đá xảy ra ngày 28/10/2020 tại nóc Ông Đề thôn 1, xã Trà Leng, TP. Đà Nẵng

Ngày 28/10/2020 lượng mưa đạt tới hơn 300mm tại thị trấn Trà My. Trước đó, ngày 11/10/2020 lượng mưa còn đạt tới gần 450mm. Tổng lượng mưa từ đầu tháng 10/2020 đến ngày xảy ra tai biến (28/10) đã đạt tới gần 1.800mm *(Hình 2)*. Đây là nguyên nhân trực tiếp kích hoạt hàng loạt khối trượt lớn ở khu vực miền núi phía Tây tỉnh Quảng Nam nói chung, xã Trà Leng (huyện Nam Trà My cũ) nói riêng. Tại xã Trà Leng, lượng mưa trong tháng 10/2020 đã đạt tới 1.530mm. Lượng mưa lớn gây ra trượt lở lớn dọc theo suối nhánh ngay phía trên thôn 1, xã Trà Leng.



Hình 2. Biểu đồ lượng mưa ngày và lượng mưa tích lũy tại trạm đo Trà My T10/2020

Hình 3. Sơ đồ phân tích lũ bùn đá tại xã Trà Leng ngày 28/10/2020[4]

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1 Phương pháp địa chất

Khảo sát địa chất với hai hố khoan HK1, HK2 có chiều sâu 20m. Hố khoan HK1 (1689406.23; 531691.34) thực hiện ngày 6-9/8/2024; hố khoan HK2 (1689419.16; 531602.23) thực hiện ngày 11-14/8/2024.

Hình 4. Khảo sát địa chất hố khoan HK1, HK2

Các thí nghiệm hiện trường (SPT) và lấy 4 mẫu M1, M2, M3, M4 được tiến hành. Kết quả thí nghiệm cho mẫu đất và đá được thể hiện như các bảng dưới đây.

Bảng 1. *Kết quả thí nghiệm mẫu đất tại lớp đất bề mặt sau khi xảy ra lũ bùn đá*

Thông số	Giá trị
Độ ẩm (%)	22,73
Trọng lượng thể tích tự nhiên (kN/m^3)	18,3
Trọng lượng thể tích khô (kN/m^3)	14,9
Trọng lượng thể tích bão hòa (kN/m^3)	19,3
Tỉ trọng G_S	2,66
Hệ số rỗng	0,784
Độ bão hòa (%)	77,12
Giới hạn chảy (LL,%)	28,29
Giới hạn dẻo (PL,%)	19,73
Chỉ số dẻo (PI)	8,56
Độ sệt I_L	0,35
Lực dính đơn vị (kPa)	0,226
Góc ma sát trong (độ)	20°6’

Bảng 2. *Kết quả thí nghiệm mẫu đá*

Tham số		Giá trị
Độ ẩm (%)		2,12
Trọng lượng thể tích khô (kN/m^3)		25,12
Trọng lượng thể tích tự nhiên (kN/m^3)		25,65
Tỉ trọng Gs		2,8
Cường độ nén 1 trục ở điều kiện khô (kPa)		81.969
Cường độ nén 1 trục ở điều kiện bão hòa (kPa)		79.113
Thành phần đá	*Felspat kali*	44-45%
	Plagioclas	20-22%
	Quartz	25-27%
	Biotit	7-8%

3.2 Phương pháp thực địa

Khảo sát thực địa khu vực lũ bùn đá Trà Leng được thực hiện vào hai đợt, tháng 01 năm 2021 sau khi lũ bùn đá xảy ra và tháng 7 năm 2024. Các nội dung phương pháp thực địa được triển khai hiện trường bao gồm: khảo sát địa hình bằng UAV (Unmanned Aerial Vehicle) và lấy mẫu tại vị trí vách trượt được thực hiện. Các công cụ, thiết bị phục vụ khảo sát thực địa gồm: Máy tính xách tay, máy in, thước dây, máy GPS cầm tay, máy ảnh, máy quay phim, bút và sổ ghi chép, UAV...

Hình 5. Khảo sát thực địa tại Trà Leng

3.3 Phương pháp Mô hình số

Phần mềm IRIC - MORPHO 2DH

Nhiều phương pháp mô hình hóa khác nhau đã được sử dụng bởi Federico & Cesali; Hungr; Turnbull, Bowman, & Mcelwaine [8, 9, 13] và nhiều tác giả khác. Một số phần mềm đã được sử dụng để mô phỏng quá trình vận chuyển lũ bùn đá bao gồm phần mềm iRIC (Nhật Bản), Debris 2D (Đài Loan), Flo-2D (Mỹ), RAMMS (Thụy Sĩ), và Kanako (Nhật Bản). Module lũ bùn đá trong phần mềm IRIC được tập thể tác giả sử dụng là Morpho2DH, được phát triển bởi Hiroshi Takebayashi - Đại học Kyoto năm 2009 mô phỏng 2 chiều dòng lũ bùn, lũ bùn đá, mô hình này có thể tái tạo các quá trình vận chuyển và xói mòn, lắng đọng của dòng lũ bùn đá do quá trình trượt lở đất. Ngoài ra mô hình mô phỏng được các dạng công trình như: nhà, công trình giao thông, đập tự nhiên, đập chắn bùn đá. Lý thuyết cơ bản dùng trong các phần mềm này dựa vào cơ học chất lỏng phi Newton, coi lũ bùn đá là dòng chảy liên tục. Các biểu thức cơ bản bao gồm khối lượng và động năng với giả thiết mực nước nông.

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sử dụng phần mềm iRIC - Morpho2DH phân tích dòng chảy lũ bùn đá hai chiều theo phương ngang, có thể mô phỏng quá trình vận chuyển và lắng đọng

của dòng chảy lũ bùn đá do trượt lở gây ra. Các phương trình cơ bản đối với phần mềm iRIC - Morpho2DH gồm:

Phương trình bảo toàn khối lượng tính theo Egashira & Itoh, 2004

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial (hu)}{\partial x}+\frac{\partial (hv)}{\partial y}=\frac{E}{c_*} \quad (1)$$

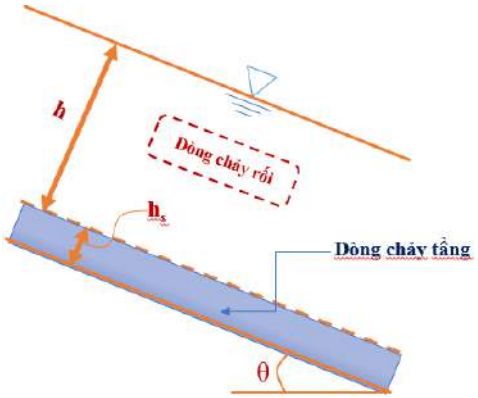
Trong đó:

h: chiều sâu trung bình lớp bùn đá (m)

u, v: vận tốc trung bình theo hai phương x, y (m/s)

c^*: nồng độ trầm tích lắng đọng

E: vận tốc xói mòn của nền dọc theo dòng chảy (m/s)



Hình 6. Mô hình phân tích dòng chảy LBĐ

$$\frac{E}{\sqrt{u^2+v^2}}=c_* \tan(\theta-\theta_e) \quad (2)$$

Trong đó, θ góc dốc dọc hướng dòng chảy.

Phương trình bảo toàn động lượng tính theo Egashira & Itoh, 2004.

$$\frac{\partial hu}{\partial t}+\frac{\partial huu}{\partial x}+\frac{\partial huv}{\partial y}=-gh\frac{\partial z_b}{\partial x}-\frac{1}{\rho_m}\frac{\partial P}{\partial x}-\frac{\tau_{bx}}{\rho_m} \quad (3)$$

$$\frac{\partial hv}{\partial t}+\frac{\partial huv}{\partial x}+\frac{\partial hvv}{\partial y}=-gh\frac{\partial z_b}{\partial y}-\frac{1}{\rho_m}\frac{\partial P}{\partial y}-\frac{\tau_{by}}{\rho_m} \quad (4)$$

Trong đó:

g: gia tốc trọng trường (m/s^2)

z_b: cao độ bề mặt đáy (m)

P: áp suất tĩnh

Ứng suất cắt theo phương trục x, y khi dòng chảy rối chiếm ưu thế được tính

$$\tau_{bx}=\tau_y+\rho f_b(u^2+v^2)\frac{u}{\sqrt{u^2+v^2}} \quad (5)$$

$$\tau_{by}=\tau_y+\rho f_b(u^2+v^2)\frac{v}{\sqrt{u^2+v^2}} \quad (6)$$

Ứng suất giới hạn chảy τ^y được tính

$$\tau_y = \left(\frac{\bar{c}}{c*}\right)^{\frac{1}{n}} (\sigma - \rho)\bar{c}gh\cos\theta\tan\phi_s \quad (7)$$

Hệ số C_v (%) được tính theo Takahashi, 1981

$$C_v = \frac{\rho_w \tan\theta}{(\sigma - \rho_w)(\tan\phi - \tan\theta)} \quad (8)$$

Trong đó:

ρ_w: khối lượng riêng của nước

σ: khối lượng thể tích của bùn đá

ϕ: Góc ma sát trong (độ)

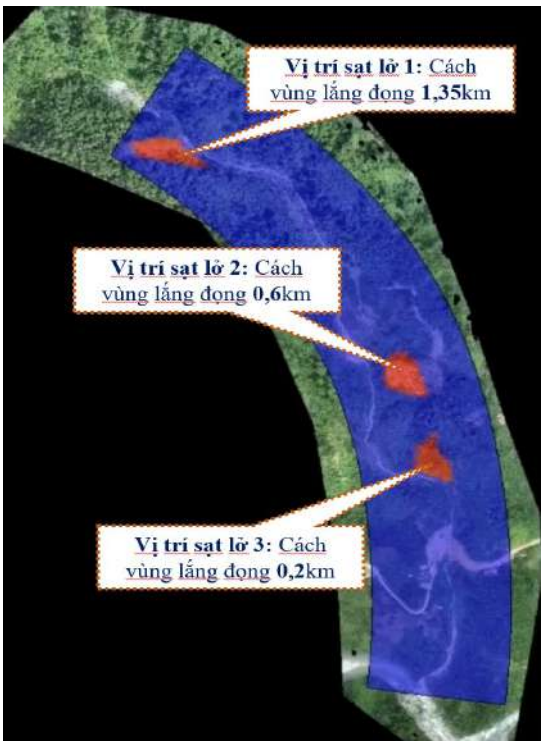
Để mô phỏng lũ bùn đá tại Trà Leng sử dụng phần mềm iRIC - Morpho2DH, các thông số cơ bản mô phỏng gồm: thông số địa hình, phạm vi mô phỏng như vị trí các khối trượt, bề dày lớp phủ, chiều cao - mật độ thảm thực vật, nhà cửa vật cản, khoảng thời gian, vị trí lắng đọng… Cụ thể:

Bảng 3. *Thông số đầu vào mô hình lũ bùn đá tại Trà Leng*

TT	Thông số	Nội dung
1	Phạm vi mô hình	Từ đỉnh núi xuống đến khu dân cư với chiều dài 1,56km
2	Thông số địa hình	Sử dụng UAV bay quét DEM 1m x 1m (đã nội suy - loại bỏ cao độ cây và vật cản). Lưới địa hình 10m x 10m.
3	Thông số địa chất	Sử dụng các thông số về chỉ tiêu cơ lý 2 hố khoan địa chất LK1, LK2 sâu 20m và các 4 mẫu thí nghiệm (M1, M2, M3, M4) dọc theo dòng chảy bùn đá với các chỉ tiêu cơ lý xác định gồm các lớp: Lớp edQ: Sét pha lẫn dăm sạn màu xám vàng, đỏ nâu. Trạng thái dẻo cứng dày lớp 2,1m. Lớp IA1: Sét pha lẫn dăm sạn màu xám vàng, đỏ nâu, ít nâu đen dạng vệt. Trạng thái nửa cứng là sản phẩm phong hóa, dày thay đổi từ 2,0m ÷ 13,9m. Lớp IB: Đá cứng chắc, phong hoá vừa, nứt nẻ rất mạnh, khe nứt hở. Lớp IIA: Đá Gneis màu xám xanh, xanh đen. Đá cứng chắc đến rất cứng chắc, dày 5,0m.
4	Vật cản, thảm thực vật	Vật cản xây dựng mô hình là nhà cửa khu vực hạ lưu dòng Lũ bùn đá. Tại thời điểm trước khi xảy ra lũ bùn đá, có 14 ngôi nhà được thiết lập. Xác định lớp thảm thực vật thưa thớt, mật độ 5m/1 cây. Chiều cao trung bình cây 2,0m.
5	Thời gian thiết lập	Thiết lập thời gian 500s.

4. Kết quả và thảo luận

Mô hình ban đầu được xác lập với ba vị trí sạt trượt lở cách vùng lắng đọng lần lượt là 0,2 km (vị trí 3), 0.6 km (vị trí 2), và 1,35 km (vị trí 1). Kết quả mô phỏng sử dụng Morpho 2DH cho thấy, dòng chảy LBĐ mô phỏng bị chặn tại vị trí co hẹp cách 0,23 km tạo thành đập dâng tạm thời, khi đập dâng bị phá hủy khiến vận tốc tăng nhanh đến cực đại. Xác định cơ chế hình thành và vận động lũ bùn đá tại Trà Leng ngày 28/10/2020 được mô tả theo trình tự như sau:

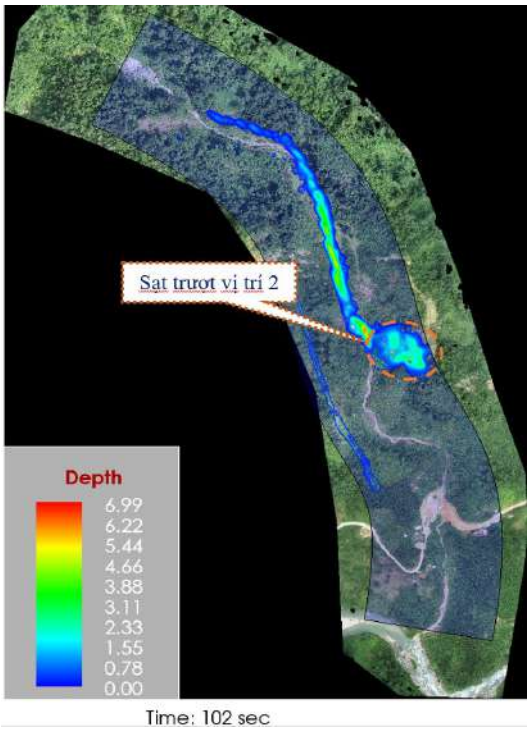


(a)

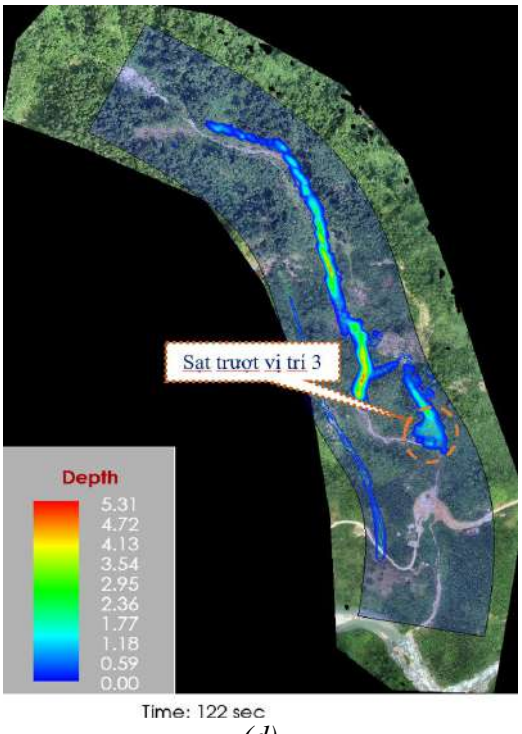
(b)

Hình a: Xác định ba vị trí sạt lở kích hoạt LBĐ; Hình b: Thời điểm kích hoạt LBĐ

Hình 7. Vị trí sạt lở kích hoạt lũ bùn đá tại Trà Leng ngày 28/10/2020.



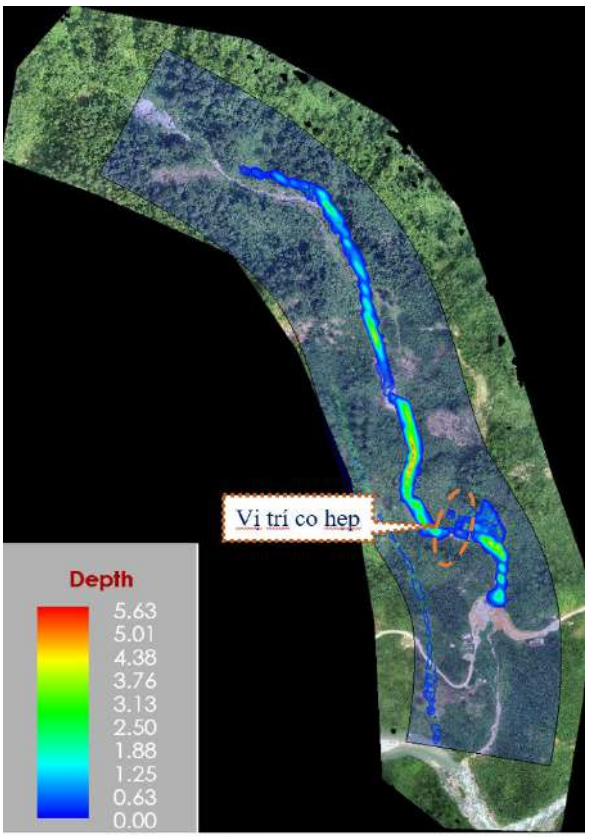
(c)



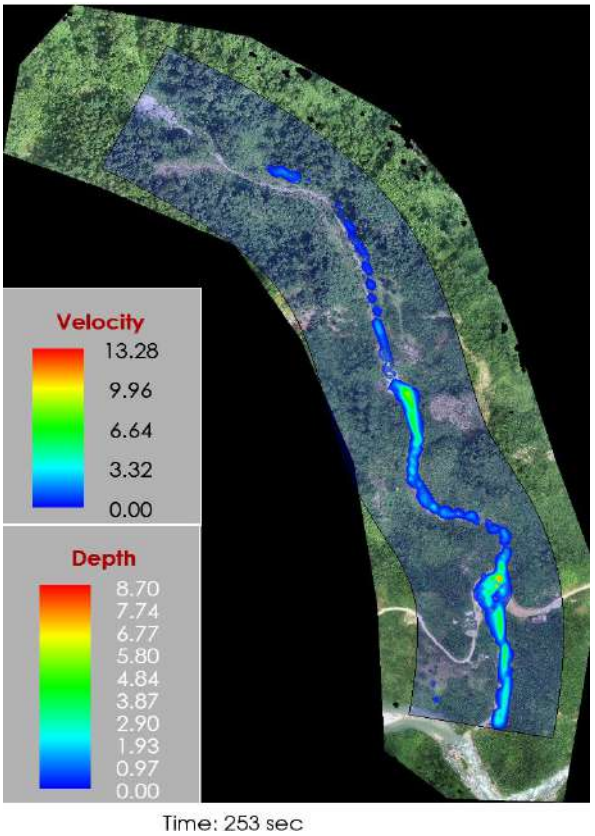
(d)

Hình c. Thời điểm trượt lở vị trí 2; Hình d. Thời điểm trượt lở vị trí 3

Hình 8. Thời điểm xảy ra trượt lở tại vị trí thứ 2, vị trí thứ 3 dòng chảy bùn đá



(e)



(g)

Hình e: Thời điểm dòng chảy LBD bị chặn tại vị trí co hẹp; Hình g: Thời điểm lắng đọng

Hình 9: Thời điểm xảy ra trượt lở tại vị trí thứ 2, vị trí thứ 3 dòng chảy bùn đá

Ngày 28/10/2020, do ảnh hưởng cơn bão *Molave,* lượng mưa tích lũy lớn tại khu vực nghiên cứu kích hoạt lũ bùn đá, mô phỏng thông qua mô hình số, có thể thấy quá trình vận động của dòng LBĐ tại Trà Leng như sau:

- Dòng chảy LBĐ bắt đầu tại thời điểm trượt lở vị trí 1 cách vùng lắng đọng 1,35km (hình b) kéo theo lượng bùn đá, thảm thực vật trong quá trình di chuyển.

- Tại thời điểm 102s (hình c) từ khi bắt đầu dòng chảy LBĐ, sau khi bổ sung lượng trầm tích, thảm thực vật trong quá trình di chuyển. LBĐ di chuyển nhanh kết hợp lượng mưa lớn làm đất bão hòa khiến trượt lở tại vị trí 2 cách vị trí 1 khoảng 0,75km.

- Chỉ sau 20s, tại thời điểm 122s (hình d) từ vị trí trượt lở 2, LBĐ di chuyển nhanh kéo theo trượt lở vị trí 3 cách vùng lắng đọng 200m.

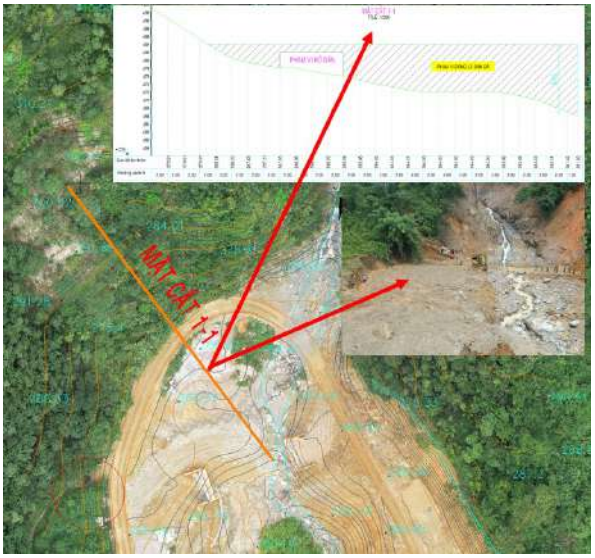
- Tại thời điểm 157s (hình e) dòng chảy LBĐ di chuyển đến khu vực vùng lắng đọng (vùng xòe quạt). Tuy nhiên, phải sau gần 100s kể từ khi LBĐ tại vùng lắng đọng mới là thời điểm dòng lũ bùn đá có sức tàn phá lớn nhất, mở rộng vùng lắng đọng hình quạt, phá hủy 14 căn nhà, khiến 53 người dân bị chôn vùi và gây ra thiệt hại nặng nề đối với khu vực hạ lưu trong dòng bùn đá. Dòng chảy bùn đá bị ngăn tại vị trí cách vùng lắng đọng khoảng 230m (vị trí co hẹp) tạo thành đập dâng tạm thời. Thời điểm đập dâng bị phá hoại làm vận tốc tăng nhanh đến cực đại với giá trị tính toán đạt 13,21m/s và chiều sâu dòng bùn đá cực đại đạt 8,70m (hình g).

- Cần khoảng 500s dòng chảy bùn đá quét qua vùng hạ du và di chuyển đến tuyến kênh chính và dừng hoàn toàn quá trình vận động.

Một số nghiên cứu mô hình mô phỏng dòng lũ bùn đá trên thế giới được kể đến như: Takebayashi et al. (2020) [3] sử dụng mô hình Morpho2DH để tái hiện dòng lũ bùn đá đã xảy ra tại thung lũng Asaminami (Hiroshima, Nhật Bản) năm 2013. Kết quả cho thấy thời gian lan truyền

từ đầu kênh đến khu dân cư khoảng 96 giây, vận tốc trung bình khoảng 9m/s. Nghiên cứu của Wang et al. (2025) [5] mô phỏng lũ bùn đá tại rãnh Suyukou, Ninh Hạ (Trung Quốc) dưới các kịch bản mưa lũ. Xác định tốc độ dòng bùn vượt 8,85m/s ở một số vị trí (kịch bản mưa 100 năm) và độ sâu dòng đạt 20,15m. Chae et al. (2020) [2] mô phỏng lũ bùn đá tại khu vực công nghiệp Daejeon (Hàn Quốc) bằng Debris-2D xác định tốc độ đỉnh khoảng 10,8m/s chỉ sau 1,1s, và sau 96 giây dòng lũ đạt độ sâu vượt 2m tại một nhà dân… cùng một số nghiên cứu khác.

So sánh kết quả tính toán sử dụng mô hình iRIC - Morpho 2DH để mô phỏng dòng lũ bùn đá tại Trà Leng so với thực tế tại hiện trường thấy rằng: Dòng lũ bùn đá đã san phẳng và vùi lấp toàn bộ 14 hộ dân, chiều cao vết lũ đo được sau khi lắng đọng so với lòng suối khoảng hơn 8,0m (Hình 10).



Hình 10. So sánh kết quả mô phỏng và thực tế

Kết quả mô phỏng cơ bản phản ánh cơ chế hình thành, vận động và sức tàn phá của lũ bùn đá đến tính mạng và tài sản. Việc xác định được chiều sâu, vận tốc dòng bùn đá và phạm vi ảnh hưởng sẽ giúp cho công tác thiết kế các giải pháp công trình giảm thiểu tác động và mức độ tàn phá của dòng lũ bùn đá [15-23].

5. Kết luận

Với kết quả tính toán như trên, có thể kết luận như sau: lũ bùn đá được tạo thành bởi tổ hợp các yếu tố gồm độ dốc địa hình, địa chất đứt gãy phong hóa mạnh, lượng mưa, lượng mưa tích lũy lớn, thảm thực vật và trượt lở là yếu tố kích hoạt. Kết quả mô phỏng sử dụng module Morpho 2DH đưa ra cơ chế hình thành và vận động LBĐ xảy ra tại Trà Leng, Tp. Đà Nẵng ngày 28/10/2020. Kết quả chỉ ra dòng chảy LBĐ bị chặn tại vị trí co hẹp cách 0,23km tạo thành đập dâng tạm thời, khi đập dâng bị phá hủy khiến vận tốc tăng nhanh đến cực đại san phẳng 14 nóc nhà ở, khiến 53 người bị vùi lấp. Chiều sâu dòng bùn đá tính toán tại vùng xòe quạt lớn nhất đạt 8,7m. Trận LBĐ ngày 28/10 diễn ra trong thời gian nhanh (khoảng 253s kể từ khi được kích hoạt), sức tàn phá lớn. Kết quả của nghiên cứu này có thể được áp dụng để xác định phạm vi ảnh hưởng, phục vụ quy hoạch, phục vụ thiết kế các gải pháp công trình giảm thiểu ảnh hưởng của lũ bùn đá đến người dân và cơ sở hạ tầng.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi đề tài Nafosted 105.08-2021.74 do PGS.TS Nguyễn Châu Lân làm chủ nhiệm.

Tài liệu tham khảo

Quang Nam statistical Yearbook (2019), *Quang Nam statistical Yearbook 2019*, Statistical Publishing House, 2019.

Chae, Byung-Gon, et al. (2020), Simulation of Debris-Flow Runout Near a Construction Site in Korea, *Applied Sciences*, Editor.

Takebayashi, Hiroshi and Fujita, Masaharu (2020), "Numerical Simulation of a Debris Flow on the Basis of a Two-Dimensional Continuum Body Model", *geosciences*. 10(2), p. 45.DOI: 10.3390/ geosciences10020045

TS. Lê Hồng, Lượng (2023), *Nghiên cứu xác định một số thông số kỹ thuật của dòng lũ bùn đá, cây trôi phục vụ tính toán thiết kế bảo vệ công trình giao thông*, Bộ giao thông vận tải, Viện Khoa học và Công nghệ GTVT.

Wang, Guorui, et al. (2025), "Numerical Simulation and Risk Assessment of Debris Flows in Suyukou Gully, Eastern Helan Mountains, China", *Sustainability*. 17(13), p. 5984.DOI: 10.3390/su17135984

Armanini, Aronne, Fraccarollo, Luigi, and Larcher, Michele (2005), "Debris Flow", *Encyclopedia of Hydrological Sciences*. 12, pp. 2173-2185

Armanini, Aronne and Larcher, Michele (2001), "Rational criterion for designing opening of slit-check dam", *Journal of Hydraulic Engineering*. 127(2), pp. 94-104

Federico, Francesco and Cesali, Chiara (2015), "An energy-based approach to predict debris flow mobility and analyze empirical relationships", *Canadian Geotechnical Journal*. 52(12), pp. 2113-2133.DOI: 10.1139/cgj-2015-0107

Hungr, O. (1995), "A model for the runout analysis of rapid flow slides, debris flows, and avalanches", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*. 33(2), pp. pp 610-623.DOI: 10.1016/0148-9062(96)84074-5

Hungr, O., Morgan, G. C., and Kellerhals, Rolf (1984), "Quantitative analysis of debris torrent hazards for design of remedial measures", *Canadian Geotechnical Journal*. 21(4), pp. 663-677

Iverson, Richard M (1997), "The physics of debris flows", *Reviews of geophysics*. 35(3), pp. 245-296

Takahashi, Tamotsu (1978), "Mechanical characteristics of debris flow", *Journal of the Hydraulics Division*. 104(8), pp. 1153-1169

Turnbull, Barbara, Bowman, Elisabeth T., and McElwaine, Jim N. (2015), "Debris flows: experiments and modelling", *Comptes Rendus. Physique*. 16(1), pp. 86-96.DOI: 10.1016/j.crhy.2014.11.006

Varnes, David J (1978), "Slope movement types and processes", *Special report*. 176, pp. 11-33.DOI: 10.13101/ijece.2.1

Huong N, T, T, Thao V, B, and Kien N, T (2020), "Early warning systems for flash floods and debris flows in Vietnam: A review", *Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development*, pp. 1233-1240

Kiên N, T, Hiếu N, T, and Nghĩa H, T (2019), "Nghiên cứu khả năng áp dụng giải pháp đập hở khung thép ngăn lũ bùn đá tại khu vực miền núi phía Bắc Việt Nam", *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng - ĐHXD*. 13(5V), pp. 28-37

Lân, Nguyễn Châu, et al. (2024), Nghiên cứu lũ bùn đá tại Trà Leng, tỉnh Quảng Nam bằng phần mềm Kanoko 1D và đề xuất giải pháp công trình phù hợp, *Hội nghị toàn quốc khoa học trái đất và Tài nguyên với phát triển bền vững (ERSD 2024)*, Địa chất công trình - Địa kỹ thuật, pp. 367-372.

Nguyen, Trung-Kien and Vu, Thao (2020), "Phương pháp xác định khu vực rủi ro lũ bùn đá dựa vào bản đồ địa hình", *Vietnam Journal of Hydrometeorology*. 713.DOI: 10.36335/VNJHM .2020(713).37-46

Nhàn, NTT (2013), "Nghiên cứu dự báo lũ bùn đá và dịch chuyển trọng lực đất đá trên đường Hồ Chí Minh đoạn từ Cổng Trời đến đèo Lò Xo", *Đề tài cấp Bộ, Mã số B-DHH-109*

Pha P, D and Túc N, D (2014), "Bản đồ nguy cơ lũ quét-lũ bùn đá khu vực Tây Nguyên", *Tạp chí Các Khoa học về Trái đất*. 36, pp. 365-372

Thao V, B (2020), "Công trình phòng trị lũ bùn đá", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi*. 60, pp. 40-47

Thao V, B and Kiên N, T (2020), "Nghiên cứu đề xuất giải pháp đập ngăn bùn đá tại suối Háng Chú Mù Cang Chải tỉnh Yên Bái", *Tạp chí Địa kỹ thuật*. 3, pp. 18-25.

Simulation study of debris flow in Traleng commune, Danang city using morpho2dh software

Vu Van Kien[1*], Nguyen Chau Lan[2], Do Tuan Nghia[1]

[1]*Department of Civil Engineering, Thuy Loi University*
[2]*Department of Civil Engineering, University of Transport and Communications*
[*]*Corresponding author: Email: kienvuvan@tlu.edu.vn*

Abstract

The debris flow event that occurred on October 28, 2020, at the Ong De settlement, Hamlet 1, TraLeng commune, DaNang City (formerly Quang Nam Province) causing significant loss of life and property when the flow obliterated 14 houses and buried 53 people: 34 survivors with injuries, 6 fatalities, and 13 missing. This study simulates the transport and deposition processes of the debris flow and analyzes the transverse distribution of its maximum depth and velocity using Morpho2DH. Field investigations comprised UAV-based topographic surveying, borehole drilling, and sampling at the headscarp, while laboratory geotechnical tests established fundamental soil and rock properties for model calibration. The Morpho2DH results closely matched field observations: the debris flow was temporarily impounded at a constricted reach 0.23 km downstream of the source, forming a natural "temporary dam," and upon its failure the flow velocity surged to approximately 13m/s, with a maximum simulated flow depth exceeding 8.0m.

Keyword: Debris flow; Landslide; Cumulative rainfall; UAV survey; iRIC - Morpho2DH software.

KHẢO SÁT ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH CHO CÁC DỰ ÁN ĐIỆN GIÓ NGOÀI KHƠI: THỬ THÁCH VÀ KINH NGHIỆM THỰC TẾ

Trương Thanh Cần[1,*], Nguyễn Quỳnh Luân[1], Nguyễn Văn Phóng[2]

[1]Công ty Cổ phần Hàng hải và Năng lượng Hải Mã

[2]Trường Đại học Mỏ - Địa chất

**Tác giả liên hệ: Email: candytruong@seahorse.com.vn*

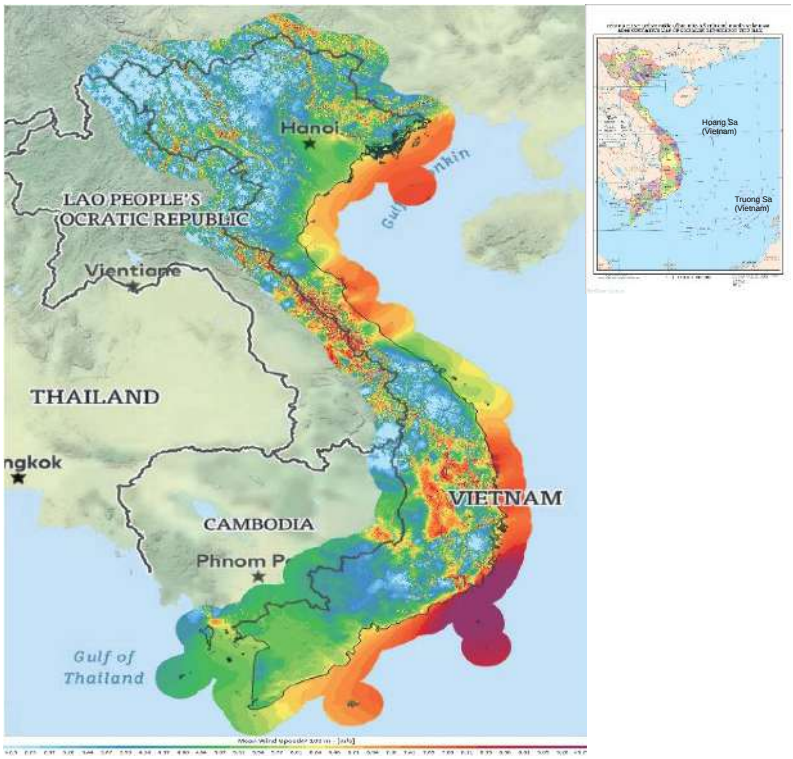
Tóm tắt

Sự phát triển mạnh mẽ của ngành năng lượng tái tạo đang thúc đẩy các dự án điện gió ngoài khơi tại Việt Nam. Công tác khảo sát địa chất công trình (ĐCCT) đóng vai trò then chốt, cung cấp dữ liệu nền tảng cho thiết kế móng turbine và hệ thống cáp ngầm. Trong thực tế triển khai, khảo sát ĐCCT ngoài khơi gặp nhiều thách thức, đặc biệt là độ sâu nước lớn và địa tầng phức tạp, điều kiện hải văn khắc nghiệt; yêu cầu tuân thủ đồng thời các tiêu chuẩn quốc tế và quy định trong nước. Bài báo chia sẻ một số kinh nghiệm thực tiễn trong việc tổ chức và thực hiện khảo sát ĐCCT cho các dự án điện gió tại Việt Nam, bao gồm chuẩn bị dữ liệu, lựa chọn thiết bị, triển khai thí nghiệm hiện trường - trong phòng và công tác lập báo cáo. Các kết quả và kinh nghiệm này góp phần xây dựng phương án khảo sát an toàn, hiệu quả, đáp ứng yêu cầu kỹ thuật và hỗ trợ phát triển bền vững điện gió ngoài khơi ở Việt Nam.

Từ khóa: Điện gió ngoài khơi; Khảo sát địa chất công trình; Nền móng turbine; Flidar.

1. Đặt vấn đề

Điện gió ngoài khơi đang trở thành giải pháp chiến lược trong chuyển dịch năng lượng toàn cầu, góp phần giảm phát thải khí nhà kính và bảo đảm an ninh năng lượng. Việt Nam được đánh giá là một trong những quốc gia có tiềm năng điện gió ngoài khơi lớn nhất Đông Nam Á, đặc biệt tại các khu vực ven biển miền Trung và miền Nam. Theo báo cáo của Ngân hàng Thế giới (2021), tổng tiềm năng kỹ thuật của điện gió ngoài khơi tại Việt Nam lên tới hàng trăm GW, tạo tiền đề cho các chiến lược phát triển dài hạn trong Quy hoạch Điện VIII.



Hình 1. Bản đồ tốc độ gió trung bình của Việt Nam

Trước năm 2021, phát triển điện gió chủ yếu tập trung ở khu vực trên bờ và gần bờ nhờ cơ chế giá FIT, nhưng xu hướng hiện nay đã dịch chuyển ra xa bờ với quy mô công suất lớn hơn, kéo theo yêu cầu khắt khe về công nghệ, thiết kế móng và khảo sát ĐCCT.

Công tác khảo sát ĐCCT là bước nền tảng, cung cấp dữ liệu quyết định cho thiết kế móng, đánh giá rủi ro và bảo đảm thi công an toàn các dự án điện gió ngoài khơi. Trong thực tiễn, quá trình này thường gặp nhiều trở ngại như độ sâu nước vượt giới hạn của thiết bị thông thường, điều kiện hải văn khắc nghiệt, địa tầng biến đổi phức tạp, nguy cơ vật nổ chưa phát hiện (UXO) và sự chồng chéo giữa hệ thống tiêu chuẩn quốc tế với quy định trong nước. Trước bối cảnh đó, bài báo tập trung phân tích các thách thức điển hình, giới thiệu những yêu cầu kỹ thuật cập nhật theo chuẩn quốc tế, đồng thời tổng hợp kinh nghiệm triển khai các dự án tương tự nhằm đề xuất định hướng phương án khảo sát ĐCCT phù hợp, an toàn và hiệu quả hơn cho các dự án khảo sát điện gió ngoài khơi tại Việt Nam trong thời gian tới.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

Khảo sát ĐCCT cho điện gió ngoài khơi được định hướng bởi nhiều tiêu chuẩn quốc tế quan trọng như DNV-GL, API RP 2GEO và ISO. Các tiêu chuẩn này đưa ra yêu cầu về phạm vi khảo sát, phương pháp thu thập dữ liệu, chỉ tiêu thí nghiệm mẫu đất tại hiện trường và trong phòng thí nghiệm, nhằm đảm bảo độ tin cậy của kết quả, phục vụ thiết kế và thi công móng turbine gió. Bên cạnh đó, các dự án thực tế cũng cho thấy nhu cầu ứng dụng các công nghệ khảo sát tiên tiến, đáp ứng yêu cầu đặc thù về độ sâu nước lớn, điều kiện hải văn khắc nghiệt và địa chất phức tạp.

2.1 Một số yêu cầu kỹ thuật mới của thiết bị khảo sát ĐCCT ngoài khơi

Trong các dự án điện gió ngoài khơi, việc lựa chọn phương tiện, thiết bị khảo sát ĐCCT phù hợp đóng vai trò then chốt quyết định đến tính an toàn và chất lượng dữ liệu thu được.

Tàu khoan khảo sát chuyên dụng: Là tàu được thiết kế để đảm bảo giữ nguyên vị trí trong suốt quá trình khoan và thí nghiệm. Có thể xem xét sử dụng tàu 4 điểm neo cho khu vực khảo sát có độ sâu dưới 80m, tuy nhiên loại tàu này có thời gian thu thả neo lâu và tính cơ động không cao. Trong khi các tàu sử dụng hệ thống định vị động học (Dynamic Positioning - DP) có thể duy trì vị trí chính xác trong điều kiện sóng, gió và dòng chảy phức tạp mà không cần sự hỗ trợ của các phương tiện khác hay hệ thống 4 điểm neo. Điều này giúp cho các tàu khoan trang bị hệ thống định vị động học luôn được lựa chọn để thực hiện công tác khảo sát và thí nghiệm hiện trường cho các dự án điện gió.

Hình 2. Tàu khoan chuyên dụng trang bị hệ thống định vị động học DP2 vàgiàn khoan ĐCCT

Hệ thống thiết bị khoan: Các tàu khoan khảo sát biển thường được trang bị hệ thống khoan Top Drive và hệ cần khoan API đường kính 5 ½ inch cho phép bộ dụng cụ lấy mẫu và các thí nghiệm hiện trường có thể triển khai bên trong cần khoan.

Hệ thống bù sóng (Motion Compensator): Hệ thống bù sóng hiệu quả cần có hành trình bù tối thiểu 3.5m, cho phép tàu làm việc ổn định trong điều kiện sóng biển từ 2.5m đến 3.0m. Nhờ đó, đảm bảo hệ thống cần khoan không bị ảnh hưởng bởi tác động của sóng, gió và thay đổi mực nước thủy triều, từ đó chất lượng của mẫu lấy được và dữ liệu thí nghiệm hiện trường được tối ưu.

Thiết bị hạ cánh đáy biển (Seabed Frame): thiết bị có trọng lượng từ 10 đến 20 tấn được thả xuống bề mặt đáy biển, cho phép hệ thống cần khoan đi qua và có chức năng giữ hệ thống cần khoan ổn định tại vị trí khoan trong suốt quá trình khoan. Giải pháp này được chứng minh là hiệu quả trong vùng nước sâu hoặc nơi có dòng chảy lớn khi triển khai công tác khoan và thí nghiệm hiện trường.

2.2 Các phương pháp thí nghiệm hiện trường và trong phòng

Các thí nghiệm hiện trường đóng vai trò cực kỳ quan trọng trong việc thu thập dữ liệu ĐCCT trực tiếp tại khu vực dự án, giúp đánh giá chính xác các tính chất cơ lý của đất nền trong điều kiện tự nhiên.

Thí nghiệm xuyên tĩnh PCPT: Các hệ thống PCPT được thiết kế với khả năng xuyên sâu và thu thập dữ liệu liên tục. CPT piezocone kèm đo áp lực nước lỗ rỗng cho phép phân tích chi tiết hơn các lớp đất nền và trạng thái ứng suất ban đầu.

Siesmic PCPT là phiên bản nâng cao của PCPT, tích hợp cảm biến đo sóng địa chấn tại đầu xuyên. Khi nguồn sóng được kích hoạt, cảm biến ghi nhận thời gian lan truyền sóng cắt (S-wave) để xác định vận tốc sóng cắt (V_s). Thông số Vs là đầu vào quan trọng để tính môđun cắt động (G_{max}), phục vụ phân tích đáp ứng động của móng turbine dưới tác động của gió và sóng (Bhattacharya, 2019).

Trong khảo sát địa chất công trình ngoài khơi, phương pháp xuyên tĩnh PCPT có thể được triển khai theo hai cấu hình chính là Seabed CPT và Downhole CPT, tùy thuộc vào điều kiện địa chất và yêu cầu kỹ thuật. Bảng 1 trình bày so sánh đặc điểm cơ bản giữa hai phương pháp này.

Bảng 1. *So sánh đặc điểm giữa Seabed CPT và Downhole CPT*

Tiêu chí	Seabed PCPT	Downhole PCPT
Vị trí thực hiện	Trực tiếp tại đáy biển, không cần hố khoan	Trong hố khoan đã tạo sẵn từ tàu khoan
Cơ chế vận hành	Tự hành trên đáy biển, sử dụng bộ đẩy thủy lực tích hợp	Xuyên bằng hệ thống thủy lực từ giàn khoan, thông qua cần khoan
Độ sâu khảo sát	Giới hạn ở độ xuyên sâu khoảng 40-60 m từ đáy biển	Có thể khảo sát rất sâu (lên đến >150 m từ đáy biển), tùy chiều sâu hố khoan
Khả năng xuyên	Giới hạn, khó xuyên vào lớp đất rất chặt hoặc có đá	Tốt, có thể xuyên qua lớp sét rất cứng hoặc gần đá gốc
Độ ổn định dữ liệu	Ổn định cao, do thiết bị nằm trực tiếp trên đáy biển	Bị ảnh hưởng bởi điều kiện hố khoan và chuyển động cần khoan
Ưu điểm	Tự động, nhanh chóng, độ chính xác cao ở tầng đất nông và trung bình	Phù hợp khảo sát sâu, xuyên qua lớp rất cứng, dễ kết hợp các thí nghiệm khác
Hạn chế	Không xuyên được các lớp đất rất chặt hoặc chứa sỏi/đá lớn	Cần kết hợp với khoan phá, chi phí và thời gian cao hơn

Thí nghiệm Vane Shear Test (VST): Được sử dụng tại chỗ để xác định sức kháng cắt không thoát nước của lớp đất sét mềm, VST giúp tránh các sai số do làm xáo trộn mẫu trong quá trình lấy mẫu hoặc do ảnh hưởng trong quá trình lưu trữ mẫu đưa về bờ.

Thí nghiệm P-S Suspension Logging: P-S logging (hoặc seismic suspension logging) là

phương pháp đo vận tốc truyền sóng dọc (P-wave) và sóng ngang (S-wave) trong đất/đá. Thiết bị bao gồm nguồn phát sóng và cặp geophone treo trong lỗ khoan (suspension tool), cho phép đo trực tiếp vận tốc cắt và nén tại các độ sâu khác nhau. Các thông số thu được rất quan trọng trong việc xác định môđun đàn hồi động của nền đất, phục vụ phân tích đáp ứng động (dynamic response) và đánh giá ổn định của móng turbine dưới tải trọng sóng - gió. Trong các dự án điện gió ngoài khơi, đặc biệt với móng monopile và jacket, dữ liệu từ P-S logging thường được sử dụng cùng với CPT seismic để hiệu chuẩn mô hình địa kỹ thuật động (DNV GL, 2018).

Công tác thí nghiệm mẫu đất: Bên cạnh các thí nghiệm cơ lý mẫu đất truyền thống thường được yêu cầu trong các dự án khảo sát trên bờ như: xác định các chỉ tiêu vật lý (độ ẩm tự nhiên, khối lượng thể tích, tỷ trọng hạt, giới hạn chảy, giới hạn dẻo, thành phần hạt), thí nghiệm sức kháng cắt (cắt trực tiếp, ba trục UU, CU, CD) và thí nghiệm nén cố kết, các dự án khảo sát điện gió ngoài khơi thường chú trọng đến các thí nghiệm nâng cao (Advanced Test). Các thí nghiệm này được thiết kế để cung cấp các thông số đặc biệt, phục vụ tính toán ảnh hưởng của tải trọng động, động đất, và các tai biến địa chất có thể xảy ra cho công trình điện gió, đảm bảo thiết kế bền vững và an toàn trong môi trường biển, trong đó có thể kể đến một số thí nghiệm điển hình như sau:

- Thí nghiệm ba trục có tải trọng lặp (Cyclic Triaxial Test): Các loại thí nghiệm triaxial như CU, CD kết hợp với tải trọng lặp giúp đánh giá hành vi mỏi của đất nền, đặc biệt quan trọng cho móng monopile hoặc jacket làm việc trong môi trường sóng gió liên tục.

- Thí nghiệm động lực học đất (Dynamic Soil Testing) nhằm xác định các thông số động phục vụ phân tích đáp ứng động của nền đất dưới tác động của sóng, gió và địa chấn. Nhóm thí nghiệm này bao gồm: thí nghiệm cột cộng hưởng (Resonant Column), dùng để xác định môđun cắt nhỏ nhất Gmax và hệ số giảm chấn ở mức biến dạng rất nhỏ; thí nghiệm cắt đơn chu kỳ (Cyclic Direct Simple Shear - DSS), mô phỏng ứng suất cắt chu kỳ trên mặt phẳng đơn để phân tích hành vi biến dạng và nguy cơ hóa lỏng và thí nghiệm ba trục chu kỳ (Cyclic Triaxial), đánh giá ứng xử biến dạng và suy giảm cường độ của đất dưới tác động nạp/dỡ tải chu kỳ.

- Thí nghiệm nhiệt trở suất (Thermal Conductivity Test) xác định hệ số dẫn nhiệt của đất, phục vụ thiết kế và phân tích phát nhiệt quanh cáp điện ngầm ngoài khơi, nhằm đảm bảo hiệu suất và tuổi thọ hệ thống truyền tải (Fichtner, 2020).

- Thí nghiệm đá nâng cao (Advanced Rock Testing) được thực hiện khi móng turbine đặt trên hoặc xuyên qua nền đá, nhằm đánh giá sức kháng và biến dạng của khối đá. Gồm các thí nghiệm cường độ nén một trục (UCS), ba trục, môđun biến dạng và tính thấm, phục vụ phân tích ổn định và khả năng chịu lực của móng neo trên đá.

2.3 Phương pháp kiểm định chất lượng mẫu

Kiểm định chất lượng mẫu bằng X-ray: Một số dự án đã ứng dụng công nghệ quét cắt lớp (X-ray) để kiểm tra chất lượng mẫu nguyên dạng, qua phân tích hình ảnh có thể đánh giá được chi tiết phân bố các lớp đất ở phạm vi nhỏ, các thấu kính và thành phần vật chất xen kẹp của mẫu đất trong ống mẫu thành mỏng. Từ đó có thể lựa chọn vị trí mẫu có tính đại diện nhất đưa vào thí nghiệm để đạt kết quả tối ưu, đồng thời tránh lãng phí thí nghiệm trên mẫu không mang tính đại diện hoặc đã bị xáo trộn.

3. Kết quả và thảo luận

3.1 Những thách thức trong khảo sát ĐCCT ngoài khơi

Khác với công tác khảo sát ĐCCT cho các dự án trên bờ và khu vực gần bờ, vị trí khảo sát ĐCCT cho các dự án điện gió ngoài khơi thường cách bờ hàng chục hải lý, khu vực có độ sâu nước lớn đặt ra nhiều thách thức do sự kết hợp giữa điều kiện môi trường biển khắc nghiệt, đặc điểm địa chất phức tạp và yêu cầu về công tác an toàn và kỹ thuật cao của dự án. Dựa trên kinh nghiệm thực tế triển khai dự án tương tự, cùng với tổng hợp từ các nghiên cứu quốc tế, một số thách thức chính bao gồm:

- Độ sâu nước lớn và địa chất phức tạp: Với các dự án điện gió ngoài khơi, độ sâu nước tại khu vực khảo sát thường từ 30m trở lên. Đặc biệt, trong các dự án sử dụng phương án chân trụ điện gió nổi (offshore floating wind), độ sâu nước tại vị trí khảo sát có thể từ 200m đến 400m. Với độ sâu này, các giàn Jack-up gần bờ, các phao công trình hay xà lan không thể thực hiện được công việc. Trong khi đó, yêu cầu kỹ thuật đòi hỏi thiết bị khoan và thí nghiệm hiện trường phải có khả năng hoạt động hiệu quả ở độ sâu lớn và điều kiện áp địa chất phức tạp.

- Điều kiện thủy hải văn khắc nghiệt: Các vùng biển ngoài khơi thường có điều kiện thủy hải văn phức tạp, sóng lớn, dòng chảy mạnh và thời tiết biến động thất thường. Những yếu tố này ảnh hưởng đáng kể đến khả năng giữ vị trí ổn định của phương tiện khảo sát, đặc biệt đối với các các thí nghiệm hiện trường yêu cầu độ chính xác cao như CPT xuyên sâu hoặc VST, PS Logging,… Báo cáo của ISFOG 2025 cũng ghi nhận điều kiện hải văn là một trong những rào cản lớn nhất đối với khảo sát ĐCCT ngoài khơi ở khu vực châu Á - Thái Bình Dương (Lakeman et al., 2025).

- Rủi ro từ UXO và dị thường địa chất: Khu vực biển Việt Nam từng là chiến trường, do đó nguy cơ hiện diện vật thể nổ chưa phát nổ (UXO) vẫn còn cao, đòi hỏi các chiến dịch rà phá kỹ lưỡng trước khi tiến hành công tác khoan (The Crown Estate, 2021).

- Tiêu chuẩn kỹ thuật: Trong thực tế triển khai, các nhóm khảo sát cần tuân thủ đồng thời các tiêu chuẩn quốc tế như DNV-GL, API RP 2GEO và ISO, bên cạnh các quy định pháp luật Việt Nam liên quan đến tài nguyên biển, bảo vệ môi trường và an toàn hàng hải.

- Yêu cầu nhân lực và thiết bị chuyên dụng: Công tác khảo sát tại các vùng biển ngoài khơi đòi hỏi phải sử dụng tàu chuyên dụng được trang bị hệ thống định vị động học (Dynamic Positioning), hệ thống thiết bị thí nghiệm hiện trường Seabed CPT, PS Logging, Vane Shear thiết kế phù hợp với hệ thống giàn khoan trên tàu. Các nhân sự kỹ thuật địa chất phải có kinh nghiệm chuyên môn làm việc trong các dự án khảo sát biển và phải được đào tạo về an toàn và ứng phó khẩn cấp trong môi trường làm việc ngoài khơi (BOSIET). Đồng thời, việc triển khai thực hiện dự án theo các tiêu chuẩn quốc tế đòi hỏi kỹ năng ngoại ngữ cao đối với các nhân sự tham gia dự án.

3.2 Kinh nghiệm triển khai thực tế

Dựa trên các yêu cầu và thách thức đã nêu, phương án khảo sát ĐCCT toàn diện cho dự án điện gió ngoài khơi thường được triển khai theo các bước sau, nhằm giảm thiểu rủi ro, tối ưu hóa chi phí.

3.2.1 Công tác thu thập, phân tích và thống kê tài liệu hiện hữu (Desktop Study)

Trước khi triển khai khảo sát thực địa, nhóm khảo sát cần thu thập và phân tích toàn bộ dữ liệu có sẵn liên quan đến khu vực dự án, bao gồm bản đồ địa chất - địa vật lý, đặc điểm trầm tích đáy, điều kiện hải văn - khí tượng thủy văn, luồng tuyến hàng hải cũng như dữ liệu lịch sử chiến tranh. Các nguồn dữ liệu phổ biến thường được sử dụng là bản đồ địa chất hải văn quốc gia, dữ liệu khảo sát dầu khí cũ (nếu có), ảnh vệ tinh và sonar khu vực, cùng các báo cáo đánh giá tác động môi trường của các dự án lân cận. Việc phân tích các dữ liệu này giúp khoanh vùng các rủi ro địa chất tiềm ẩn, xác định sơ bộ vị trí hố khoan, từ đó xây dựng kế hoạch khảo sát hợp lý và hiệu quả hơn.

3.2.2 Khảo sát quan trắc hải dương, khí tượng hải văn và đánh giá tác động môi trường (EIA)

Các thiết bị như FLiDAR hoặc phao đo hải dương (buoy) được triển khai để ghi nhận dữ liệu gió, sóng, dòng chảy, nhiệt độ và độ mặn trong suốt thời gian quan trắc từ 12 đến 24 tháng. Dữ liệu này là cơ sở quan trọng cho thiết kế tải trọng động và phân tích ổn định móng turbine gió ngoài khơi (Cooperman et al., 2024). Song song đó, đánh giá tác động môi trường cần được thực hiện sớm trong giai đoạn phát triển dự án nhằm nhận diện các rủi ro tiềm tàng về môi trường và đảm bảo tuân thủ các yêu cầu pháp lý hiện hành.

3.2.3 Khảo sát Địa vật lý (Geophysical Site Survey)

Khảo sát địa vật lý được thực hiện để lập bản đồ địa hình đáy biển, xác định rủi ro như chướng ngại vật, tầng đất yếu, khí nông, UXO… Các thiết bị phổ biến gồm:

- MBES (Multi-Beam Echo Sounder): lập bản đồ địa hình đáy biển;

- SSS (Side Scan Sonar): phát hiện vật thể bất thường và dị thường bề mặt;

- SBP/UHRS (Sub-Bottom Profiler/ Ultra High Resolution Seismic): xác định địa tầng nông, độ sâu tầng đá gốc hoặc lớp đất cứng, phát hiện khí nông và các dị thường địa chất;

- Magnetometer: phát hiện vật thể từ tính, đặc biệt là UXO.

Kết quả khảo sát địa vật lý đóng vai trò định hướng cho toàn bộ chiến dịch khoan sau đó (Society for Underwater Technology, 2014).

3.2.4 Rà phá bom mìn (UXO Clearance)

Dựa trên kết quả khảo sát địa vật lý, các vị trí nghi có UXO sẽ được rà phá trước khi khoan. Đây là bước bắt buộc nhằm đảm bảo an toàn cho thiết bị và nhân lực, đặc biệt ở các khu vực từng là chiến trường (The Crown Estate, 2021).

3.2.5 Khoan Khảo sát ĐCCT (Geotechnical Survey)

Sau khi hoàn tất khảo sát địa vật lý và xác định vị trí khoan, tàu khoan khảo sát chuyên dụng sẽ được huy động để thực hiện khoan địa chất, nhằm thu thập mẫu đất nguyên dạng và tiến hành thí nghiệm hiện trường.

Khoan lấy mẫu nguyên dạng (Shelby/Piston Core) là phương pháp quan trọng để thu thập đất không bị xáo trộn, đặc biệt là đất sét mềm, ở độ sâu 30-80 m (hoặc sâu hơn) tùy theo yêu cầu thiết kế móng. Mẫu nguyên dạng có ý nghĩa then chốt trong việc xác định chính xác các thông số cơ lý của đất thông qua thí nghiệm trong phòng, phản ánh đúng trạng thái tự nhiên của đất dưới đáy biển.

3.2.6 Các thí nghiệm hiện trường

Các thí nghiệm hiện trường (Seismic CPT, PCPT, VST, PS logging …) được thực hiện trực tiếp tại vị trí khoan hoặc độc lập, nhằm cung cấp dữ liệu tức thời và chính xác về tính chất của đất nền, giảm thiểu rủi ro do quá trình lấy mẫu và vận chuyển. Việc lựa chọn thiết bị phù hợp với địa tầng và độ sâu nước là yếu tố quyết định chất lượng dữ liệu thu được.

3.2.7 Phòng thí nghiệm ở hiện trường (Offshore Laboratory Testing)

Để đảm bảo chất lượng mẫu và có thông tin địa chất sơ bộ kịp thời, các dự án điện gió ngoài khơi yêu cầu bố trí phòng thí nghiệm ngay trên tàu khoan. Phòng thí nghiệm cần được trang bị đầy đủ thiết bị để thực hiện ngay các thí nghiệm cơ lý cơ bản như: xác định độ ẩm tự nhiên, khối lượng thể tích, sức kháng cắt không thoát nước… Việc thử nghiệm ngay sau khi lấy mẫu giúp bảo toàn đặc tính nguyên dạng của đất, tránh sai lệch do vận chuyển và lưu trữ.

Các dự án quốc tế thường áp dụng các tiêu chuẩn như ISO, ASTM hoặc BS, đòi hỏi phòng thí nghiệm và nhân sự phải đáp ứng tiêu chuẩn quốc tế.

Ngoài ra, đối với các thí nghiệm chuyên sâu yêu cầu thiết bị đặc biệt và điều kiện kiểm soát nghiêm ngặt, mẫu đất/đá cần được lưu trữ theo đúng quy định kỹ thuật về nhiệt độ, độ ẩm và áp suất nhằm đảm bảo chất lượng trong quá trình vận chuyển đến các phòng thí nghiệm chuyên dụng. Điều này có thể ảnh hưởng đến chi phí và tiến độ dự án, do đó cũng cần được xem xét trong giai đoạn lập kế hoạch.

3.2.8 Phòng thí nghiệm trên bờ (Onshore Laboratory Testing)

Các mẫu đất được bảo quản trong điều kiện kiểm soát và vận chuyển cẩn thận về phòng thí nghiệm chuyên dụng trên bờ sau khi hoàn tất chiến dịch khảo sát hiện trường hoặc trong từng đợt cập cảng đối với dự án dài ngày. Việc vận chuyển mẫu theo từng đợt không những giúp rút ngắn thời gian xử lý và phân tích, mà còn đảm bảo mẫu được thí nghiệm trong trạng thái gần với điều kiện tự nhiên nhất. Thí nghiệm chi tiết được tiến hành nhằm xác định các đặc trưng cơ lý, hóa lý và biến dạng của đất nền, làm cơ sở cho phân tích địa kỹ thuật và thiết kế móng công trình ngoài khơi, bao gồm:

- Các chỉ tiêu thí nghiệm vật lý bao gồm xác định độ ẩm tự nhiên, giới hạn Atterberg, tỷ trọng hạt, thành phần hạt. Các chỉ tiêu này giúp phân loại đất và đánh giá đặc trưng ban đầu.

- Các chỉ tiêu thí nghiệm cơ học sử dụng các thí nghiệm ba trục (UU, CU, CD), cắt trực tiếp, nén cố kết để đánh giá sức kháng cắt và độ lún. Với môi trường tải trọng động, thí nghiệm ba trục lặp và cố kết động được sử dụng để đánh giá ứng xử đất dưới tác động sóng gió.

- Thử nghiệm hóa lý phân tích pH, Cl^-, SO_4^{2-}, độ dẫn điện, độ dẫn nhiệt. Kết quả này nhằm đánh giá nguy cơ ăn mòn và hiệu suất truyền nhiệt và là thông tin quan trọng cho thiết kế móng và cáp ngầm.

- Các thí nghiệm nâng cao được triển khai để đánh giá ứng xử đất dưới tác động động. Thí nghiệm ba trục lặp và cố kết động xác định khả năng mỏi, biến dạng và độ lún của đất sét mềm. Các thí nghiệm động lực học như cột cộng hưởng và cắt chu kỳ (DSS) cung cấp thông tin về môđun cắt, hệ số tắt dần và nguy cơ hóa lỏng, hỗ trợ hiệu chỉnh mô hình và thiết kế móng tối ưu.

3.3 Lập báo cáo kỹ thuật

Công tác lập báo cáo nên được thực hiện đồng thời với khảo sát nhằm đảm bảo dữ liệu được xử lý kịp thời, hỗ trợ hiệu quả cho thiết kế. Báo cáo thường được lập theo từng giai đoạn kỹ thuật để phục vụ quản lý và ra quyết định.

Bảng 2. *Nội dung và lịch trình bàn giao báo cáo trong dự án*

Loại báo cáo	Yêu cầu chính	Lịch trình dự kiến
Báo cáo Hiện trường Field Report	Mô tả tổng thể quá trình thực hiện khảo sát hiện trường và chi tiết hoạt động khảo sát, công tác định vị, đo sâu, biểu đồ CPT, nhật ký khoan, hình trụ hố khoan, các thí nghiệm hiện trường, thông tin mẫu và tổng hợp số liệu thí nghiệm mẫu đất trên tàu.	01 tuần sau khi hoàn tất toàn bộ chiến dịch khảo sát.
Báo cáo Thực tế Factual Report	Tổng hợp toàn bộ dữ liệu (ĐCCT hiện trường, thí nghiệm trong phòng). Trình bày dữ liệu bao gồm diễn giải, bản vẽ, tọa độ, cao độ, chứng chỉ hiệu chuẩn thiết bị.	04 tuần sau khi kết thúc toàn bộ chiến dịch hiện trường (Tùy thuộc vào khối lượng thí nghiệm và thời gian chuyển mẫu).
Báo cáo Minh giải Interpretation Report	Phân tích địa tầng và các rủi ro địa kỹ thuật (xói lở, khí nông, trượt). Đề xuất thông số thiết kế (sức chịu tải, môđun biến dạng, độ lún...). Là cơ sở cho thiết kế móng.	08 tuần sau khi Báo cáo Thực tế được hoàn thành và cung cấp đầy đủ dữ liệu. (Tùy thuộc vào thời gian thực thực hiện thí nghiệm mẫu đất trong phòng).
Báo cáo mô hình hóa Modeling Report	Xây dựng mô hình địa kỹ thuật 3D dựa trên tổng hợp tất cả các dữ liệu (Desktop Study, Geophysical, Field Test, Geotechnical, Onshore Lab Test). Cung cấp trực quan hóa và dữ liệu đầu vào cho phân tích SSI.	Song song hoặc ngay sau khi Báo cáo Minh giải được biên soạn (thường là sản phẩm đi kèm hoặc phụ lục của Báo cáo Minh giải).

4. Kết luận

Điện gió ngoài khơi đang trở thành một trong những trụ cột quan trọng trong chiến lược chuyển dịch năng lượng tại Việt Nam. Trong toàn bộ vòng đời dự án, khảo sát địa chất công trình (ĐCCT) giữ vai trò nền tảng, quyết định đến thiết kế móng, đánh giá rủi ro và hiệu quả đầu tư.

Qua kinh nghiệm thực tế triển khai tại một số dự án, có thể rút ra ba thách thức chính trong khảo sát ĐCCT ngoài khơi tại Việt Nam: (i) độ sâu nước lớn và địa tầng phức tạp, (ii) điều kiện hải văn khắc nghiệt, và (iii) yêu cầu tuân thủ đồng thời các tiêu chuẩn quốc tế và quy định trong nước. Bên cạnh đó, công tác khảo sát đòi hỏi phương tiện - thiết bị chuyên dụng, đội ngũ kỹ sư có kinh nghiệm thực địa, cũng như hệ thống xử lý và minh giải số liệu đáp ứng chuẩn quốc tế.

Để nâng cao chất lượng khảo sát và đáp ứng yêu cầu ngày càng cao của các dự án điện gió ngoài khơi, nhóm tác giả kiến nghị:

- Đầu tư hạ tầng thiết bị khảo sát chuyên dụng (tàu DP, thiết bị CPTu seismic, PS Logging...).
- Đào tạo và phát triển nhân lực có trình độ chuyên môn cao, đáp ứng các chứng chỉ quốc tế (API, DNV, ISO, BOSIET).
- Ứng dụng công nghệ số và mô hình hóa 3D trong xử lý và minh giải số liệu địa kỹ thuật.
- Xây dựng hướng dẫn và tiêu chuẩn quốc gia về khảo sát ĐCCT cho điện gió ngoài khơi, phù hợp điều kiện Việt Nam.

Các định hướng trên sẽ giúp công tác khảo sát ĐCCT tại Việt Nam tiệm cận chuẩn quốc tế, đồng thời tối ưu hóa chi phí, rút ngắn tiến độ và bảo đảm an toàn - hiệu quả cho các dự án điện gió ngoài khơi.

Tài liệu tham khảo

Cooperman, M. Hall, S. Housner, C. Hein, P. Duffy, D. M. Hernando, L. Carmo, F. Moreno, and W. Musial, Investigation of the challenges of offshore wind in ultradeep water. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, 2024.

DNV GL, Data gathering process: Geotechnical departures for offshore wind energy, 2018.

Fichtner Water & Transportation GmbH, Presentation and comparison of site investigation methods for offshore wind energy in the European North Seas countries in the context of the EU North Seas Energy Cooperation. Umwelt Bundesamt, 2020.

J. W. A. Lakeman, P. R. Larbalestier, and Y. S. Shin, "Site investigation strategies for offshore wind development in Asia-Pacific," in Proc. 5th Int. Symp. Frontiers in Offshore Geotechnics (ISFOG 2025), Nantes, France, 2025, pp. 1-7.

Society for Underwater Technology, Guidance notes for the planning and execution of geophysical and geotechnical ground investigations for offshore renewable energy developments. London: SUT, 2014.

The Crown Estate and Wessex Archaeology, Archaeological written schemes of investigation for offshore wind farm projects. London: The Crown Estate, 2021.

World Bank Group, Offshore wind development program: Wind roadmap for Vietnam. Washington, DC: World Bank, 2021.

World Bank Group, A framework for private sector-led offshore wind projects in Viet Nam: Next steps for advancing Viet Nam's offshore wind journey. Washington, DC: World Bank, 2025.

S. Bhattacharya, Design of foundations for offshore wind turbines. Chichester, UK: Wiley, 2019.

Deutsche WindGuard GmbH, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), and University of Groningen, Case study: European offshore wind farms - A survey for the analysis of the experiences and lessons learnt by developers of offshore wind farms, 2005.

Geotechnical investigation for offshore wind projects: challenges and practical experiences

Truong Thanh Can[1,*], Nguyen Quynh Luan[1], Nguyen Van Phong
[1]*Seahorse Marine and Energy Joint Stock Company*
[2]*Hanoi University of Mining and Geology*
**Corresponding author: Email: candytruong@seahorse.com.vn*

Abstract

The rapid global growth of the renewable energy sector is driving increasing demand for technical surveys and supporting infrastructure, with offshore wind power emerging as a strategic solution to reduce greenhouse gas emissions and ensure energy security. Vietnam is considered

one of the countries with the highest offshore wind potential in Asia. To ensure the feasibility, effectiveness, and safety of offshore wind projects, geotechnical investigation plays a vital role throughout all project life cycle stages. This paper provides an overview of offshore wind development in Vietnam, analyzes the unique technical challenges in conducting geotechnical investigations, updates recent international standards and technical requirements, and shares practical experiences from offshore wind survey campaigns already executed. These insights aim to contribute to the development of safe, technically sound, and cost-effective geotechnical survey strategies, thereby supporting suitable foundation design and the sustainable growth of offshore wind power in Vietnam.

Keywords: Offshore wind; Geotechnical investigation; Offshore geotechnics; Turbine foundations; FLiDAR.

ỨNG DỤNG PHẦN MỀM STATISTICAL PROCESS TRONG XỬ LÝ THỐNG KÊ KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM ĐẤT ĐÁ

Phan Tự Hướng*, Đỗ Minh Tính
Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội
**Tác giả liên hệ: Email: tuhuongdcct36@yahoo.com*

Tóm tắt

Trong lĩnh vực ĐCCT - ĐKT, xác suất thống kê (XSTK) đóng vai trò quan trọng để đánh giá, mô hình hóa, quản lý và dự báo các đặc tính của đất đá và các hiện tượng địa chất. ĐKT thường xuyên phải đối mặt với sự biến đổi ngẫu nhiên và phức tạp của môi trường địa chất, do đó XSTK là một trong những công cụ không thể thiếu được.

Kết quả xử lý thống kê (XLTK) là cơ sở cho việc tính toán các trạng thái giới hạn của các lớp đất đá cho công trình. Việc sử dụng các giá trị đặc trưng này đã tính đến sự rủi ro của nền đất, giúp công trình đạt được mức độ tin cậy và an toàn nhất định.

TCVN 9153:2012 quy định xử lý số liệu thí nghiệm dựa trên lý thuyết XSTK và áp dụng cho nhiều chỉ tiêu cơ lý. Do quy trình thực hiện phức tạp và không được kiểm soát rõ ràng nên kết quả thu được thường không đảm bảo sự tin cậy. Chính vì vậy mà nhiều đơn vị đã bỏ qua bước XLTK này, làm giảm chất lượng tài liệu khảo sát ĐKT, đặc biệt là chỉ tiêu độ bền chống cắt của đất.

Do vậy việc sử dụng phần mềm Statistical Process cho công tác XLTK là rất cần thiết, rút ngắn được thời gian thực hiện và đảm bảo chất lượng công tác khảo sát ĐKT.

***Từ khóa**:* Xác suất thống kê; xử lý thống kê; chỉnh lý thống kê; chỉ tiêu cơ lý đất đá.

1. Đặt vấn đề

Công tác XLTK được tính toán từ kết quả thí nghiệm chỉ tiêu cơ lý đất đá trong phòng kết hợp với tài liệu mô tả hiện trường. Chỉ tiêu riêng lẻ của một lớp đất nào đó được xác định hoàn toàn ngẫu nhiên qua việc lấy mẫu, thí nghiệm, tính toán độc lập với nhau theo mối quan hệ đồng nhất. Các giá trị này sẽ lấp đầy một khoảng giá trị nào đó. Theo lý thuyết XSTK, chúng là đại lượng ngẫu nhiên biến thiên liên tục. Đối với mỗi một đại lượng ngẫu nhiên, đặc trưng cho nó là những trị số riêng lẻ và xác suất mà những trị số đó có thể xuất hiện. Chúng xác định quy luật phân phối của đại lượng ngẫu nhiên. XLTK các chỉ tiêu cơ lý của đất đá đóng một vai trò vô cùng quan trọng và là nền tảng khoa học cho toàn bộ quá trình thiết kế, thi công cùng quản lý rủi ro.

Hiện nay công tác xử lý số liệu thí nghiệm trong phòng chủ yếu trên bảng tính Excel vì tính phổ biến và dễ sử dụng. Do vậy kết quả thu được cũng như công tác phân tích, tổng hợp số liệu cũng thể hiện trên môi trường này, trong đó có cả phần XLTK. Tuy nhiên chủ yếu được thực hiện bằng các thao tác thủ công cùng với các bảng tra, tính toán nội suy, công thức lồng ghép phức tạp. Việc loại bỏ sai số thô, xác định các giá trị tiêu chuẩn (GTTC) và giá trị tính toán (GTTT) khi thao tác nhiều lần dễ dẫn tới sai sót. Đặc biệt khi số liệu thí nghiệm trong 1 đơn nguyên (lớp) đất đá lên đến hàng trăm mẫu, số liệu phân tán càng nhiều thì càng trở thành gánh nặng với người làm báo cáo. Công tác XLTK khi đó phải thực hiện ít nhất 2 đến 3 vòng để đảm bảo loại trừ các sai số, để thông tin thu được tin cậy hơn. Tiêu chuẩn hiện nay tuy có đưa ra các ví dụ nhưng số liệu đầu vào khá đơn điệu, không phù hợp với thực tế, thậm chí có chỗ tính toán không chính xác nên người đọc khó có thể tham chiếu, so sánh kết quả.

Đứng trước thực trạng đó và để thuận tiện cho công tác tổng hợp số liệu, tác giả chọn Excel làm môi trường làm việc gồm dữ liệu đầu vào, loại bỏ các sai số thô, xác định các đặc trưng thống kê và kết quả tính toán. Phần mềm Statistical Process được xây dựng trên cơ sở tổng hợp từ hệ thống tiêu chuẩn TCXD 74-87, TCVN 9153:2012, ГОСТ 20522-2012 (tiêu chuẩn của nước Nga)...

Bài báo này giới thiệu phần mềm Statistical Process trong chỉnh lý kết quả thí nghiệm mẫu đất và kết quả ứng dụng trong công trình.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

2.1 Cơ sở lý thuyết xác suất thống kê

Một thể tích đất đá đồng nhất cùng tên gọi được xem là một đơn nguyên ĐCCT (còn gọi là lớp, đới đất đá) khi các giá trị đặc trưng cơ lý nằm trong phạm vi được quy định trong TCVN 9153:2012 và thay đổi không có quy luật. Các chỉ tiêu cơ lý từng lớp được tổng hợp, tính toán từ các thí nghiệm mẫu đơn lẻ trong lớp đó.

Các đặc trưng thống kê của chỉ tiêu nào đó trong một lớp bao gồm giá trị tiêu chuẩn (x^{tc}), độ lệch bình phương trung bình (S), hệ số biến đổi (v). Sự biến đổi của S và v sẽ đánh giá mức độ đồng nhất trong địa tầng, do vậy chúng là cơ sở cho việc loại trừ sai số theo XSTK.

TCVN quy định mô hình XLTK cho chỉ tiêu đơn và kép (sức chống cắt) trong điều kiện khác nhau. Với chỉ tiêu đơn có xét tới điều kiện làm việc thực tế như giá trị khối lượng thể tích (KLTT) trong tính toán ổn định mái dốc sẽ khác với tính toán trong chịu tải (mục tiêu thiên về an toàn). Với chỉ tiêu kép (cắt phẳng, cắt 3 trục) thì quá trình tính toán phức tạp hơn.

Nội dung chi tiết về mô tả lý thuyết tính toán, công thức cùng các bước XLTK đã được trình bày cụ thể trong TCVN 9153:2012 nên tác giả không trình bày lại.

2.2 Phương pháp nghiên cứu

Công tác chỉnh lý kết quả thí nghiệm mẫu đất đá trong phòng là một giai đoạn quan trọng để chuyển đổi dữ liệu thô thành thông tin có ý nghĩa và đáng tin cậy. Các phương pháp nghiên cứu này bao gồm nhiều bước từ chuẩn bị dữ liệu đến phân tích và trình bày kết quả. Dưới đây là các phương pháp nghiên cứu chính trong xử lý số liệu thí nghiệm trong phòng:

- Chuẩn bị dữ liệu đầu vào: Rà soát nguồn dữ liệu đầu vào và loại bỏ các sai số do nhầm lẫn. Tái cấu trúc dữ liệu theo tiêu chuẩn làm việc.

- Định dạng và tổ chức dữ liệu: Định dạng dữ liệu cho phù hợp với phân tích (Ví dụ: Bảng tính Excel, định dạng csv, CSDL). Ở đây chọn bảng tính Excel. Tổ chức, sắp xếp dữ liệu theo định dạng riêng từng chỉ tiêu cho các lớp để dễ dàng phân tích dữ liệu.

- Phân tích dữ liệu: Xác định sai số hệ thống, sai số ngẫu nhiên của kết quả thí nghiệm thu được. Quy trình này được quy định trong TCVN theo lý thuyết XSTK. Sau đó xác định các đặc trưng thống kê như giá trị trung bình (tiêu chuẩn), phương sai, độ lệch bình phương trung bình, hệ số biến đổi để xác định các đặc trưng và mức độ phân tán của dữ liệu. Xây dựng biểu đồ điểm (phản ánh mức độ phân tán theo chiều sâu), biểu đồ mật độ phân phối của đại lượng đơn lẻ nếu cần thiết. Các biểu đồ này giúp trực quan hóa dữ liệu và phát hiện xu hướng giá trị biến đổi trong không gian.

- Phân tích hồi quy: Xây dựng mô hình toán học để mô tả mối quan hệ giữa một biến phụ thuộc và một hoặc nhiều biến độc lập (ví dụ như với chỉ tiêu sức chống cắt). Mục đích là để dự đoán hoặc giải thích sự biến thiên của giá trị phụ thuộc.

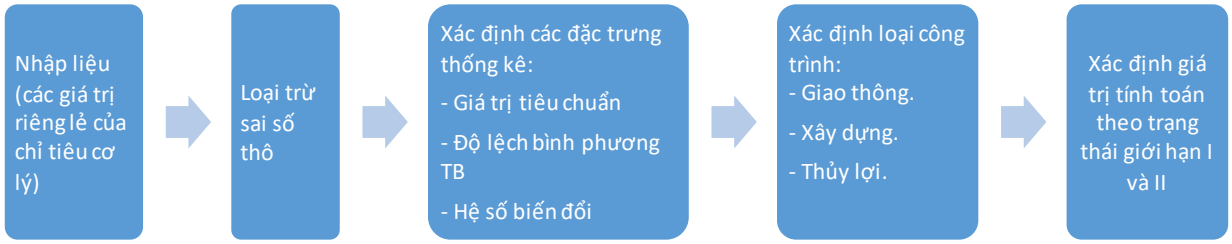
- Phân tích chuyên sâu và ứng dụng tin học: Sử dụng phần mềm lập trình chuyên nghiệp kết nối với bảng tính Excel để xử lý các tình huống phức tạp như nội suy giá trị, dò tìm và tra bảng, tính toán loại trừ, tổng hợp dữ liệu...

- Trình bày kết quả: Thể hiện trong bảng tính Excel cùng với các thông báo trực quan, giúp người tổng hợp dễ dàng khai thác và sử dụng.

3. Ứng dụng phần mềm Statistical Process

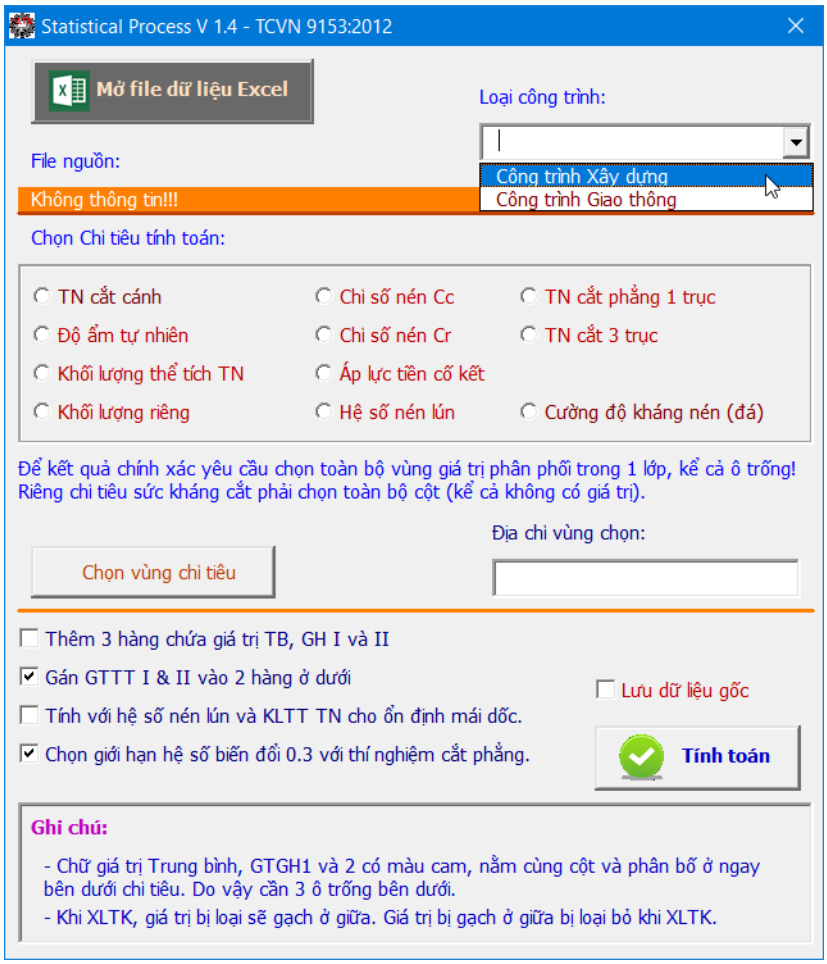
Như đã phân tích, việc chỉnh lý kết quả thí nghiệm mẫu đất thủ công thường gặp những hạn chế nhất định, độ rủi ro cao, ảnh hưởng tới chất lượng và tiến độ công việc. Nhận thấy rõ việc thực hiện trong môi trường Excel dẫn tới khả năng tự động hóa (TĐH) bị hạn chế, các tình huống xử lý không được linh hoạt. Do vậy tác giả xây dựng phần mềm XLTK với sự hỗ trợ của lập trình chuyên nghiệp nhằm nâng cao tính linh hoạt, tốc độ tính toán và hiệu quả xử lý.

Để phù hợp với môi trường làm việc chung, tác giả chọn bảng tính Excel cho việc chuẩn bị nguồn dữ liệu đầu vào, loại bỏ các sai số thô, xác định các đặc trưng thống kê và kết quả tính toán. Phần mềm Statistical Process này được xây dựng trên cơ sở tổng hợp từ hệ thống tiêu chuẩn TCVN và ГОСТ 20522-2012.



Hình 1. Quy trình thực hiện của phần mềm xử lý thống kê

Cấu trúc hiển thị của phần mềm như Hình 2. Khi phần mềm được cài đặt thì người dùng có thể dễ dàng làm việc với dữ liệu đang mở trong Excel.



Hình 2. Cửa sổ ứng dụng của phần mềm "Statistical Process"

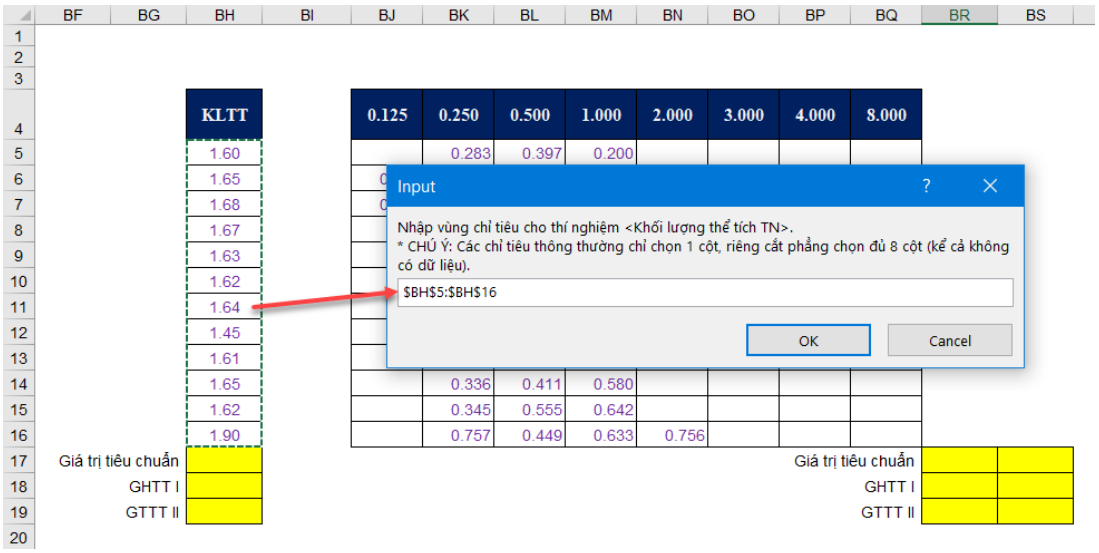
Dữ liệu XLTK cần định dạng và sắp xếp có trật tự theo hàng và cột. Thí nghiệm thông thường chỉ cho phép 1 cột, riêng với cắt phẳng có 8 cột tương ứng các cấp áp lực nén khi cắt 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 và 8.0kG/cm^2 (theo TCVN 4199:1995). Với các chỉ tiêu khác nhau thì các quy định cũng như độ chính xác cũng yêu cầu khác nhau.

Riêng với chỉ tiêu hệ số nén lún và KLTT tự nhiên áp dụng cho tính toán ổn định mái dốc có lựa chọn xử lý riêng, vì giá trị tính toán (GTTT) khi giảm đi sẽ mất an toàn.

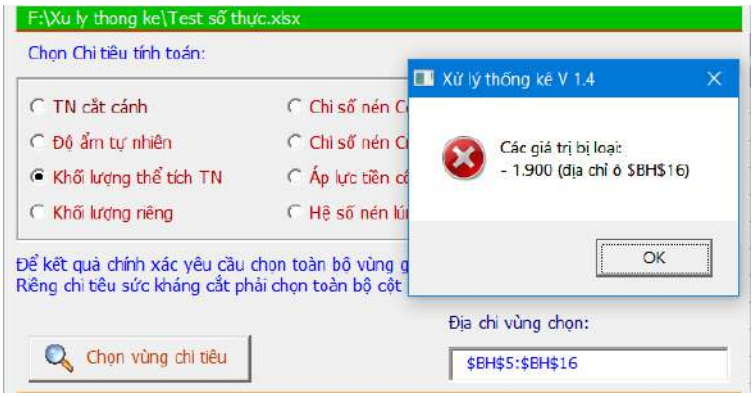
3.1 Xử lý thống kê với chỉ tiêu thông thường

Đó là các chỉ tiêu như độ ẩm tự nhiên, KLTT tự nhiên, giới hạn chảy, giới hạn dẻo, hệ số rỗng... Các chỉ tiêu này bố trí trong một cột, đó cũng là nguyên tắc thể hiện trong bảng tổng hợp chỉ tiêu cơ lý.

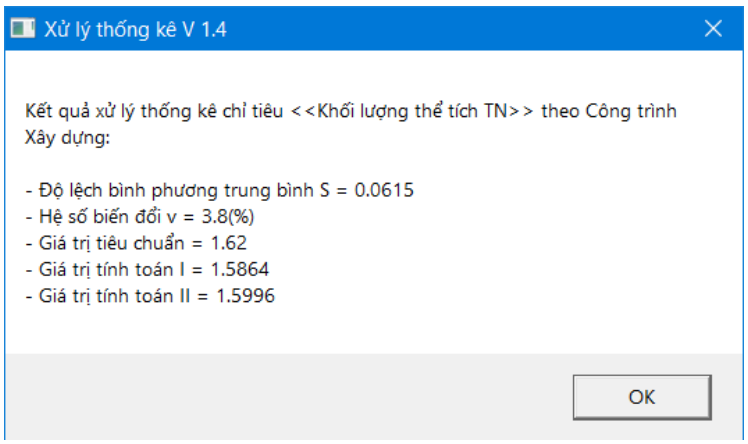
Khi chạy chương trình sẽ hiển thị thông báo giá trị sai số thô bị loại nếu có (hình 4) cùng các đặc trưng thống kê (hình 5). Giá trị bị loại được gạch ngang và bỏ qua trong lần XLTK lần tiếp theo. Do vậy người dùng rất dễ kiểm soát số liệu trước và sau khi XLTK.



Hình 3. Chọn vùng dữ liệu cần XLTK



Hình 4. Thông báo giá trị bị loại trong xử lý thống kê



Hình 5. Các đặc trưng trong xử lý thống kê

3.2 Xử lý thống kê với chỉ tiêu cắt phẳng

Mô hình XLTK dựa trên phương pháp bình phương nhỏ nhất của quan hệ giữa ứng suất cắt và áp lực nén khi cắt. TCVN quy định các cấp áp lực nén phụ thuộc vào trạng thái của đất và gồm 8 cấp áp lực như hình 3. Quy trình thực hiện giống với các chỉ tiêu thông thường và kết quả hiển thị như ở hình 6.

Tùy theo số lượng mẫu, mức độ phân tán của giá trị và số lượng mẫu bị loại bỏ ở lần XLTK trước mà có thể chạy 2 hoặc 3 lần để đảm bảo kết quả thu được chính xác nhất. Người dùng dễ dàng quan sát, theo dõi kết quả ở mỗi lượt chạy phần mềm. Kết quả XLKT chỉ tiêu KLTT tự nhiên ở hình 6 được thực hiện 2 lần. Lần đầu loại trừ giá trị phân tán lớn nhất (1.90), lần 2 loại trừ giá trị phân tán nhỏ hơn (1.45).

Như vậy quy trình XLTK cần thực hiện ít nhất là 2 lần nếu có sai số bị loại trừ. Điều này không dễ thực hiện khi xử lý thủ công thông thường trên Excel.

	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR	BS
4			**KLTT**		**0.125**	**0.250**	**0.500**	**1.000**	**2.000**	**3.000**	**4.000**	**8.000**		
5			1.60			0.283	0.397	~~0.200~~						
6			1.65		0.134	0.262	0.434	0.483						
7			1.68		0.096	0.262	0.434	0.483						
8			1.67			0.308	0.528	0.603						
9			1.63			0.317	0.507	0.593						
10			1.62			0.327	0.511	0.586						
11			1.64			0.265	0.446	0.484						
12			~~1.45~~			0.331	0.245	0.573						
13			1.61			0.285	0.433	0.511						
14			1.65			0.336	0.411	0.580						
15			1.62			0.345	0.555	0.642						
16			~~1.90~~			~~0.757~~	0.449	0.633	0.756					
17		Giá trị tiêu chuẩn	1.64								Giá trị tiêu chuẩn		0.237	17°46'
18		GHTT I	1.62								GHTT I		0.198	14°48'
19		GTTT II	1.63								GTTT II		0.213	15°56'

Hình 6. Kết quả xử lý thống kê cho chỉ tiêu thông thường và cắt phẳng

4. Kết quả và thảo luận

Phần mềm XLTK đã được Trung tâm khảo sát kiểm định - Công ty ADCC áp dụng cho nhiều công trình, trong đó có công trình thuộc Cảng Hàng không tại miền Trung. Kết quả khảo sát thu được từ 77 hố khoan và thí nghiệm trong phòng đã xác định được 4 lớp đất, trong đó có 2 lớp cần phải XLTK. Đó là lớp số 3 (70 mẫu) và số 4 (163 mẫu). Kết quả XLTK lớp 3 thu được ở Hình 7, có 2 giá trị trong thí nghiệm cắt phẳng bị loại bỏ trong quá trình XLTK.

	B	C	D	E	F	S	T	U	V	W	X	Y	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU
11	Số hiệu lớp	Số hiệu LK	Số hiệu mẫu	Độ sâu lấy mẫu (Từ ... đến)		Khối lượng riêng	Độ ẩm tự nhiên	Khối lượng thể tích		Giới hạn		Chỉ số dẻo	Độ bão hoà	Độ rỗng	Hệ số rỗng	Thí nghiệm cắt trực tiếp										Thí nghiệm nén nhanh							
12								Tự Nhiên	Khô	Chảy	Dẻo					Cường độ kháng cắt T ứng với từng cấp áp lực P (kG/cm²)								Góc ma sát trong	Lực dính kết	Hệ số rỗng e ứng với từng cấp áp lực P (kG/cm²)							Hệ số nén lún
13																																	
14						ρ	W_0	γ_{TRS}	γ_c	W_c	W_d	I	G	n	e_0	0.125	0.25	0.5	1	2	3	4	8	φ	C	0.125	0.25	0.5	1	2	4	8	$a_{(1-2)}$
15				(m)		g/cm³	%	g/cm³		%			%		-	kG/cm²								Độ	kG/cm²	-	-	-	-	-	-	-	cm²/kG
17	2	3	4	5		18	19	20	21	22	23	24	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
78	3	HK62	U3	5.8	6.0	2.70	19.3	2.05	1.72	38.9	22.6	16.3	91.7	36.2	0.568			0.37	0.55	0.90				19°27'	0.198		0.533	0.512	0.489	0.454	0.406		0.035
79	3	HK63	U1	2.0	2.2	2.70	23.2	1.87	1.52	38.2	21.9	16.3	80.4	43.8	0.779				0.56	0.88	1.20			17°52'	0.236			0.726	0.694	0.655	0.607	0.539	0.039
80	3	HK63	U2	4.0	4.2	2.69	20.5	1.98	1.64	35.8	22.1	13.7	86.6	38.9	0.637				0.62	0.99	1.37			20°37'	0.242			0.591	0.553	0.520	0.476	0.405	0.033
81	3	HK63	U3	5.8	6.0	2.70	20.4	2.02	1.68	36.4	22.4	14.0	90.6	37.8	0.609			0.42	0.59	0.93				19°02'	0.244		0.580	0.562	0.529	0.494	0.455		0.035
82	3	HK64	U1	2.0	2.2	2.69	20.9	1.99	1.65	34.6	20.5	14.1	88.6	38.8	0.634																		
83	3	HK67	U1	2.0	2.2	2.69	19.2	1.95	1.64	34.5	21.1	13.4	80.2	39.2	0.644			0.38	0.56	0.93				20°19'	0.192		0.609	0.581	0.540	0.506	0.464		0.034
84	3	HK68	U1	2.0	2.2	2.70	12.3	2.03	1.81	24.9	14.2	10.7	67.4	33.1	0.494				0.67	~~1.11~~	~~1.54~~			23°21'	0.242			0.473	0.459	0.439	0.408	0.362	0.020
85	3	HK68	U2	4.0	4.2	2.70	23.1	1.96	1.59	36.9	22.5	14.4	89.5	41.0	0.695				0.59	0.94	1.30			19°24'	0.239			0.652	0.622	0.596	0.558	0.511	0.026
86	3	HK72	U1	2.0	2.2	2.69	24.8	1.96	1.57	37.2	22.5	14.7	93.5	41.6	0.712			0.43	0.61	0.98				20°20'	0.242		0.685	0.664	0.636	0.600	0.558		0.036
87	3	HK74	U1	2.0	2.2	2.69	18.0	1.98	1.68	34.7	21.7	13.0	80.3	37.6	0.603			0.36	0.54	0.89				19°31'	0.185		0.586	0.573	0.553	0.528	0.472		0.025
88	3	HK74	U2	4.0	4.2	2.69	27.2	1.91	1.50	40.1	23.2	16.9	92.4	44.2	0.791			0.39	0.56	0.90				18°42'	0.219		0.772	0.758	0.736	0.704	0.652		0.032
89	3	HK74	U3	5.8	6.0	2.70	21.6	1.97	1.62	39.5	22.9	16.6	87.5	40.0	0.667			0.41	0.60	0.97				20°12'	0.231		0.648	0.635	0.615	0.587	0.537		0.028
90	3	HK75	U1	2.0	2.2	2.69	23.5	1.96	1.59	38.2	22.9	15.3	91.0	41.0	0.696				0.56	0.89	1.23			18°53'	0.221			0.655	0.629	0.593	0.541	0.478	0.036
91	GTTC lớp 3					2.70	21.3	1.97	1.63	35.7	21.8	13.7	85.7	39.4	0.665									19°10'	0.216								0.033
92	GTTT theo GH1 lớp 3					2.70	20.0	1.99	1.66	34.7	21.1	13.1	87.9	40.5	0.696									18°38'	0.199								0.035
93	GTTT theo GH2 lớp 3					2.70	20.5	1.98	1.65	35.1	21.4	13.4	87.0	40.1	0.684									18°50'	0.206								0.034

Hình 7. Kết quả xử lý thống kê lớp 3

Tại một công trình giao thông ở phường Rạch Dừa - phường Phước Thắng - TP.HCM, công tác XLTK được áp dụng cho các lớp đất (Hình 8 và Hình 9). Tác giả kiểm tra chỉ tiêu sức chống cắt cho lớp đất số 2 và không có giá trị nào bị loại trừ.

STT - Number	Hố khoan - Bore hole	Số hiệu TN - Lab. No.	Ký hiệu mẫu HT - Sample No.	Độ sâu lấy mẫu - Depth - from...to... (m)	Phân tích thành phần hạt - Particle size distribution, %-mm (TCVN 4198-2014)												Độ ẩm- Water content	KLTT tự nhiên Unit weight	Khối lượng thể tích khô Dry unit weight	Khối lượng riêng Specific gravity	Hệ số rỗng tự nhiên Void ratio	Độ rỗng Porosity	Độ bão hòa Degree of satur.	Giới hạn Atterberg - Atterberg Limits		Chỉ số dẻo Plasticity index	Độ sệt Liquidity index
					Phương pháp sàng (Sieve method)									Phương pháp tỷ trọng kế (Hydrometer method)													
					Cuội- Cobble	Sỏi- Gravel			Cát - Sand					Bụi - Sụt		Sét-Clay								Giới hạn chảy Liquid limit (Casagrande)	Giới hạn dẻo Plastic limit		
						Thô -	Trung -	Nhỏ-	Thô - Coarse		Trung -	Nhỏ- Fine															
					>20.0	20.0-	10.0-	5.0-	2.0-	1.0	0.5-	0.25-	0.08-	0.06-	0.01-													
						10.0	5.0	2.0	1.0	0.5	0.25	0.080	0.06	0.01	0.002	<0.002											
																	W	γ_w	γ_k	G_s	e	n	S	W_L	W_P	I_P	I_L
																	%	g/cm³	g/cm³	g/cm³		%	%	%	%	%	
Lớp 2: Đất bụi rất dẻo, sét rất dẻo (MH,CH) lẫn sét dẻo thấp (CL) màu xám xanh, xám đen, trạng thái chảy - dẻo chảy																											
1	HK1	VT1	U1	1.8-2.0				5.1	3.0	3.2	1.6	36.6	11.5	14.9	11.6	12.5	92.4	1.37	0.71	2.62	2.672	72.8	90.6	73.2	38.2	35.0	1.55
2	HK14	VT77	U1	1.8-2.0				0.3	0.4	0.4	0.3	17.4	12.5	34.5	14.8	19.4	79.3	1.48	0.83	2.69	2.259	69.3	94.4	72.0	46.7	25.3	1.29
3	HK17	VT234	U1	3.8-4.0			0.7	4.7	3.3	4.8	3.2	30.6	13.3	16.1	9.0	14.3	64.0	1.58	0.96	2.68	1.787	64.1	96.0	63.5	32.8	30.7	1.02
4	HK19	VT247	U1	1.8-2.0					0.3	1.1	1.4	41.7	17.7	13.6	8.9	15.3	109.4	1.42	0.68	2.69	2.974	74.8	99.0	84.1	46.7	37.4	1.68
5	HK19	VT248	U2	3.8-4.0					0.9	1.4	0.7	17.9	15.9	22.2	22.1	18.9	102.3	1.43	0.71	2.67	2.784	71.8	98.1	99.6	43.2	56.4	1.05
6	HK21	VT261	U1	1.8-2.0				0.9	0.6	0.9	1.2	19.2	16.4	21.0	20.5	19.3	53.9	1.59	1.03	2.67	1.581	61.3	91.0	56.5	30.5	26.0	0.90
7	HK21	VT262	U2	3.8-4.0			0.9	3.5	2.7	4.5	3.8	28.1	9.6	23.7	10.3	12.9	100.5	1.41	0.71	~~2.52~~	2.572	72.0	98.5	82.3	35.6	46.7	1.39
8	HK21	VT263	U3	5.8-6.0			1.0	2.0	2.7	1.6	2.0	17.9	14.3	26.6	16.1	15.8	44.9	1.75	1.21	2.68	1.216	54.9	98.9	41.2	25.6	15.6	1.24
9	HK22	VT274	U1	1.8-2.0					0.5	1.2	0.9	21.8	13.7	30.0	11.7	20.2	57.0	1.65	1.05	2.70	1.575	61.2	97.7	52.7	28.1	24.6	1.17
10	HK22	VT270	U2	3.8-4.0				0.6	0.7	1.1	1.6	21.8	17.4	29.1	15.1	12.6	42.5	1.75	1.23	2.70	1.199	54.5	95.7	40.0	17.5	22.5	1.11
11	HK22	VT272	U3	5.8-6.0					0.6	1.1	1.6	17.7	15.5	20.7	19.4	23.4	61.8	1.61	1.00	2.69	1.702	63.0	97.7	57.0	29.1	27.9	1.17
12	HK25	VT91	U1	1.8-2.0				1.9	2.0	3.1	2.1	31.5	8.6	24.5	12.6	13.6	71.8	1.57	0.91	2.70	1.955	66.2	99.2	67.0	30.1	36.9	1.13
	Giá trị tiêu chuẩn																73.3	1.55		2.68							
	Giá trị tính toán 1																57.5	1.46		2.66							
	Giá trị tính toán 2																64.2φ	1.50		2.67							
	Trung bình:						**0.2**	**1.6**	**1.5**	**2.0**	**1.7**	**25.2**	**13.9**	**23.1**	**14.3**	**16.5**	**73.3**	**1.55**	**0.92**	**2.68**	**2.023**	**65.6**	**96.4**	**65.8**	**33.7**	**32.1**	**1.22**

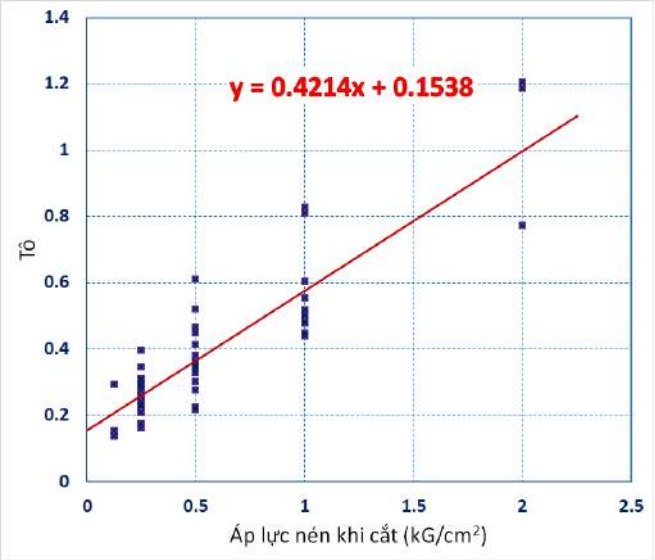
Hình 8. Kết quả xử lý thống kê lớp 2 và có giá trị bị loại trừ

Thông thường khi xử lý số liệu thí nghiệm, lực dính kết và góc ma sát trong được tính riêng cho từng mẫu và tính trung bình cho mỗi lớp (Hình 9). Tuy nhiên kết quả trung bình đó hoàn toàn sai lệch so với quy chuẩn khi áp dụng XLKT. Điều này là dễ hiểu khi quy trình xử lý chung cho toàn bộ tập hợp dữ liệu (cho một lớp) chứ không áp dụng riêng cho từng mẫu (Hình 10). Giá trị lực dính kết 0.1538 thu được ở phương trình tương quan phản ánh tính chính xác về sự hoạt động của phần mềm (kết quả tương ứng ô BQ165 Hình 9).

Quá trình tính toán đã được nhóm kỹ thuật, KCS ra soát, so sánh với các phương pháp tính toán thủ công khác, đảm bảo độ tin cậy của phần mềm.

	Ứng suất pháp theo cấp áp lực cắt								Lực dính kết Cohes-ion, C	Góc ma sát trong Internal friction angle, φ
	0.125	0.250	0.500	1.000	2.000	3.000	4.000	8.000		
	kG/cm²								kG/cm²	Độ
		0.294	0.329	0.502					0.208	15°60
	0.294	0.346	0.415						0.260	17°33
		0.277	0.363	0.441					0.238	11°52
			0.612	0.810	1.188				0.423	20°58
			0.522	0.828	1.206				0.333	23°59
		0.294	0.381	0.519					0.225	16°31
		0.234	0.346	0.502					0.156	19°20
		0.311	0.346	0.519					0.225	15°60
		0.242	0.415	0.519					0.190	19°05
		0.306	0.360	0.504					0.234	14°58
		0.260	0.303	0.450					0.186	14°33
	0.138	0.163	0.216						0.112	11°47
		0.228	0.277	0.484					0.125	19°23
		0.208	0.329	0.519					0.112	22°18
	0.153	0.176	0.225						0.129	10°53
		0.288	0.342	0.477					0.221	14°17
		0.398	0.450	0.606					0.320	15°44
			0.360	0.504	0.774				0.225	15°23
					Giá trị tiêu chuẩn theo XLTK				**0.154**	**22°51'**
					Giá trị tính toán 1 theo XLTK				**0.104**	**19°38'**
					Giá trị tính toán 2 theo XLTK				**0.123**	**20°53'**
				Giá trị tiêu chuẩn không theo XLTK					**0.220**	**16°44**

Hình 9. Kết quả tính trung bình và xử lý thống kê chỉ tiêu thí nghiệm cắt phẳng lớp 2



Hình 10. Xác định tương quan từ tập hợp giá trị riêng lẻ trong thí nghiệm cắt phẳng

Trang	Mục	Nội dung	Viết sai	Sửa lại cho đúng
6	2.4	chỉ tiêu cơ lý của mẫu đất	mudun	môđun
8	4.1.3		khi các phần lớn mỏng	khi các phân lớp mỏng
9	4.1.4		modun	môđun
9		Phép kiểm t, kiểm tra khả năng tách hai đơn nguyên địa chất công trình kề nhau	$t=\frac{\lvert\bar{x}_1-\bar{x}_2\rvert}{\sqrt{n_1 s_1^2-n_2 s_2^2}}\sqrt{\frac{n_1 n_2\,(n_1+n_2-2)}{n_1+n_2}}$	$t=\frac{\lvert\bar{x}_1-\bar{x}_2\rvert}{\sqrt{n_1 s_1^2+n_2 s_2^2}}\sqrt{\frac{n_1 n_2\,(n_1+n_2-2)}{n_1+n_2}}$
12		Công thức tính $tg\varphi_{tc}$	$tg\varphi_{tc}=\frac{1}{\Delta}\left(\sum_{i=1}^{n}\tau_i\sigma_i-\sum_{i=1}^{n}\tau_i\sum_{i=1}^{n}\sigma_i\right)$	$tg\varphi_{tc}=\frac{1}{\Delta}\left(n\sum_{i=1}^{n}\tau_i\sigma_i-\sum_{i=1}^{n}\tau_i\sum_{i=1}^{n}\sigma_i\right)$
13		Công thức tính sai số chuẩn	$S_\tau=\sqrt{\frac{1}{n-2}(\sigma_c tg\varphi_{tc}+C_{tc}-\tau_i)^2}$	$S_\tau=\sqrt{\frac{1}{n-2}\sum(\sigma_c tg\varphi_{tc}+C_{tc}-\tau_i)^2}$
15	4.2.2	Công thức tính hệ số $V_{\alpha,\lambda}$	là hệ số, tra bảng 4 phụ thuộc vào độ tin cậy một phía α, thông số λ *(Không thể tra bảng 4 nếu không biết giá trị K)*	là hệ số, tra bảng 4 phụ thuộc vào độ tin cậy một phía α, thông số λ, với K=n-2
24	Phụ lục E	E.1	$tg\varphi_i=\frac{N_i-1}{\sqrt{N_i}}$	$tg\varphi_i=\frac{N_i-1}{2\sqrt{N_i}}$
24	Phụ lục E	E.1	$C_i=\frac{M_i}{\sqrt{N_i}}$	$C_i=\frac{M_i}{2\sqrt{N_i}}$
24	Phụ lục E	E.1	khi thay $tg\varphi_{tc}$, C_{tc}, τ_i bằng N_i, M_i, σ_{1i}, σ_{3i} với σ_1 và σ_3 là các ứng suất chính tương ứng khi mẫu đất bị phá hủy	khi thay $tg\varphi_{tc}$, C_{tc}, τ_i, σ_i bằng N_i, M_i, σ_{1i}, σ_{3i} với σ_1 và σ_3 là các ứng suất chính tương ứng khi mẫu đất bị phá hủy
25	Phụ lục F	F.1.1	Lấp cấp áp lực	Lấy cấp áp lực
25	Phụ lục F	F.1.1	Một số giá trị trong bảng F.1 viết sai so với các giá trị ghi trong các tiêu chuẩn trước đó	
25	Phụ	F.1.1	Công thức tính độ lệch chuẩn S khi loại trừ sai số thô đã được thay đổi nhưng trong ví dụ	

Hình 11. Một số lỗi của TCVN 9153:2012 (nguồn từ flatgeo.com)

5. Kết luận

Bài báo đã đề cập tới ứng dụng XSTK trong chỉnh lý kết quả thí nghiệm mẫu đất đá bằng phần mềm Statistical Process. Phần mềm này đã giúp người dùng đơn giản hóa quá trình xử lý số liệu thí nghiệm cơ lý đất đá. Kết quả XLTK thu được nhiều thông tin rõ ràng, độ tin cậy cao. Môi trường ứng dụng linh hoạt, phù hợp với hầu hết với các đơn vị chuyên môn.

TCVN 9153:2012 là tiêu chuẩn ban hành mới nhất, chủ yếu được dịch từ tiêu chuẩn gốc ГОСТ 20522-2012. Tuy nhiên tiêu chuẩn này còn có những hạn chế như sau:

- Phạm vi áp dụng không rõ ràng vì chỉ đề cập tới công trình thủy lợi.
- Biên dịch sai sót, cẩu thả gây sự khó hiểu (đã được đề cập chi tiết trong trang

https://www.flatgeo.com/index.php/vi/ktdkt/ktchung/89-pp-chinhly-kqtn). Đây cũng là nguyên nhân dẫn tới nhiều người không thể áp dụng được hoặc áp dụng không đúng. Nhóm tác giả đã phải dò tìm, so sánh với tiêu chuẩn gốc để có được thông số chính xác.

- Tuy tiêu chuẩn đưa ra nhiều ví dụ tuy được mở rộng nhưng vẫn có sai sót, thậm chí áp dụng công thức sai.

Kiến nghị:

- Sự sai sót của TCVN 9153:2012 đã được nhiều nhà khoa học đề cập và nêu ý kiến từ lâu nhưng không thấy cập nhật gì! Đề nghị cơ quan ban hành TCVN 9153:2012 sửa đổi, cập nhật lại.

- Chuẩn hóa quy trình xử lý số liệu thí nghiệm một cách rõ ràng và thống nhất.

- Công tác xác định các chỉ tiêu sức chống cắt cần thực hiện đúng quy trình XLTK để đảm bảo số liệu thu được chính xác.

- Tăng cường ứng dụng khoa học công nghệ và kiến thức XSTK trong lĩnh vực khảo sát ĐKT nói riêng và trong hoạt động xây dựng nói chung.

Tài liệu tham khảo

Hoàng Kim Bảng, Tô Xuân Vu, 2002. Bài giảng tin học ứng dụng cho ngành Địa chất công trình. Trường Đại học Mỏ Địa chất Hà Nội.

Phan Tự Hướng, Nguyễn Thành An, 2020. Excel nâng cao và một số ứng dụng trong XD. Nhà xuất bản Xây dựng.

Phan Tự Hướng, 2025. Bài giảng môn học Địa chất công trình. Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội.

TCXD 74-87, 1987. Đất xây dựng - Phương pháp chỉnh lý thống kê các kết quả xác định các đặc trưng của chúng.

TCVN 4199:1995, 1995. Đất xây dựng - Phương pháp xác định sức chống cắt trên máy cắt phẳng trong phòng thí nghiệm.

TCVN 9153:2012, 2012. Công trình thủy lợi - Phương pháp chỉnh lý kết quả thí nghiệm mẫu đất.

ГОСТ 20522-2012, Moscow, 2013.

Application of Statistical Process software in the statistical treatment of soil and rock test results

*Phan Tu Huong, Do Minh Tinh

Hanoi Architectural University

**Corresponding author: Email: tuhuongdcct36@yahoo.com*

Abstract

In the field of Geotechnical Engineering, probability and statistics play a crucial role in evaluating, modeling, managing, and predicting the properties of soil and rock as well as geological phenomena. Geotechnical practice frequently faces random variability and complexity of the geological environment; therefore, probability and statistics are indispensable tools.

The results of statistical treatment provide the basis for calculating the limit states of soil and rock layers in engineering projects. The use of such characteristic values incorporates the inherent risk of subsoil conditions, thereby ensuring a certain level of reliability and safety for the structure.

Vietnamese Standard TCVN 9153:2012 specifies the statistical treatment of laboratory test data based on probability theory and is applicable to various geotechnical parameters. Due to the complexity of the procedure and the lack of rigorous control, the resulting outcomes are often unreliable. Consequently, many organizations have omitted this statistical treatment step, which

reduces the quality of geotechnical investigation reports, particularly with respect to soil shear strength parameters.

Therefore, the use of the Statistical Process software for statistical treatment is essential, as it shortens the processing time and ensures the quality of geotechnical investigations.

***Keywords**:* Statistical probability; statistical data processing; statistical adjustment; and physical-mechanical properties of soil and rock.

NGHIÊN CỨU, ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP XỬ LÝ THẤM QUA NỀN ĐẬP HỒ CHỨA NƯỚC SÔNG THAN, TỈNH KHÁNH HÒA

Phạm Thị Ngọc Hà[1], Nguyễn Tấn Sơn[2], Bùi Trường Sơn[1], Nguyễn Thành Dương[1,*]

[1]Trường Đại học Mỏ - Địa chất

[2]Công ty TNHH Nam Miền Trung

**Tác giả liên hệ: Email: nguyenthanhduong@humg.edu.vn*

Tóm tắt

Hồ chứa nước Sông Than được xây dựng tại xã Hòa Sơn (nay là xã Anh Dũng), tỉnh Khánh Hòa, với mục tiêu cung cấp nguồn nước ổn định phục vụ sản xuất nông nghiệp và phát triển kinh tế - xã hội địa phương. Đối với các đập hồ chứa, xử lý chống thấm qua nền đập là nhiệm vụ có ý nghĩa quyết định đến an toàn và hiệu quả khai thác công trình. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu khả năng thấm qua nền đập hồ chứa Sông Than và đề xuất giải pháp xử lý thấm phù hợp. Kết quả phân tích đặc điểm địa chất công trình cho thấy nền đập hồ chứa nước Sông Than có nguy cơ thấm mất nước do đáy đập đặt trên các lớp đá phong hóa vừa đến nhẹ. Trên cơ sở đánh giá ưu điểm, hạn chế và tính khả thi của các giải pháp xử lý chống thấm, nghiên cứu đề xuất áp dụng phương pháp khoan phụt 1 nút nhằm hình thành màn chống thấm liên tục, hiệu quả. Giải pháp này có khả năng tăng cường ổn định lâu dài của đập, hạn chế thấm mất nước và đảm bảo an toàn cho công trình. Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học và thực tiễn quan trọng cho việc lựa chọn công nghệ xử lý chống thấm thích hợp đối với các hồ chứa nằm trong điều kiện địa chất tương tự.

Từ khóa: Hồ chứa Sông Than, thấm nền đập, xử lý chống thấm, khoan phụt 1 nút.

1. Mở đầu

Công trình Hồ chứa nước Sông Than, thuộc địa phận xã Hòa Sơn, huyện Ninh Sơn, tỉnh Ninh Thuận (nay là xã Anh Dũng, tỉnh Khánh Hòa) được xây dựng nhằm tạo nguồn nước ổn định, đáp ứng được nhu cầu nước để phát triển sản xuất nông nghiệp và các ngành kinh tế khác trong vùng (Hình 1). Khu tưới của dự án là các vùng đồi thấp và đồng bằng nằm dọc theo phía bờ hữu của Sông Cái Phan Rang và một phần ở phía bờ tả của sông Than, thuộc các xã Hoà Sơn, Mỹ Sơn, huyện Ninh Sơn và xã Phước Sơn, huyện Ninh Phước. Khu tưới có diện tích tự nhiên 5.100 ha, diện tích canh tác khoảng 3.000 ha. Đây là khu vực nhiều tiềm năng, đất đai thích hợp cho sản xuất nông, lâm nghiệp nhưng chưa được khai thác hết do chưa có công trình thủy lợi nào đáng kể đáp ứng được nhiệm vụ tưới tiêu cho khu vực phía Tây Nam sông Cái (Phan Rang. Khu vực thực hiện dự án nằm trong đới cấu trúc địa chất tương đối phức tạp nên có thể gây ra hiện tượng thấm mất nước của hồ chứa.

Hình 1. Vị trí Hồ chứa nước Sông Than (Ảnh Google Earth)

Trên cả nước có gần 7.000 hồ chứa thủy lợi, thủy điện đang hoạt động, các hồ chứa này đã phát huy hiệu quả, góp phần quan trọng trong phát triển kinh tế - xã hội, đặc biệt là phát triển nông nghiệp, ổn định đời sống nhân dân. Qua nhiều năm trong công tác khảo sát, thiết kế, thi công, quản lý vận hành công trình và khắc phục các sự cố, cùng với sự phát triển của công nghệ mới… đã rút được nhiều kinh nghiệm trong công tác xây dựng đập, cho nên đã khắc phục được những tồn tại và thiếu sót trước đây và không ngừng phát triển lớn mạnh về mọi mặt. Tuy nhiên, chúng ta cũng cần phải xem xét đánh giá nguyên nhân gây thấm nền đập, để nghiên cứu đề ra những giải pháp, công nghệ xử lý chống thấm hiệu quả, nhằm khắc phục, hạn chế những sự cố xảy ra. Đối với công trình thủy lợi, việc tiến hành xử lý thấm là công việc rất quan trọng. Bài báo này sẽ nghiên cứu khả năng thấm mất nước, phân tích và đề xuất giải pháp xử lý thấm qua nền đập Hồ chứa nước Sông Than. Hồ chứa nước Sông Than có tổng dung tích là 85,04 triệu m^3, trong đó dung tích hữu ích là 82,80 triệu m^3. Hệ thống đập của hồ chứa bao gồm: Đập đất nhánh phải (dài 1029,0m) và đập bê tông trọng lực không tràn (dài 237,20m) (Bảng 1).

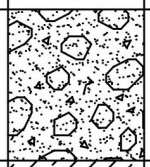
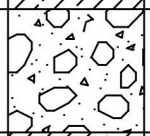
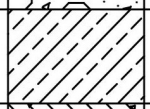
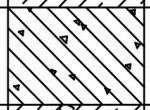
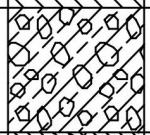
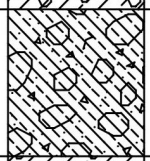
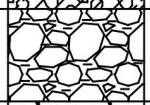
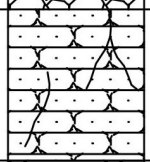
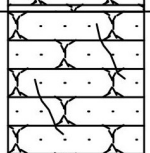
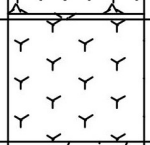
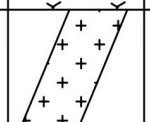
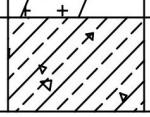
***Bảng 1**. Thông số kỹ thuật đập và Hồ chứa nước Sông Than*

STT	Thông số	Đơn vị	Giá trị
I	**Hồ chứa nước**	Cấp	
1	Cấp công trình đầu mối	m	II
2	Dung tích hồ chứa	triệu m^3	85,04
3	Dung tích hồ chứa hữu ích	triệu m^3	82,80
4	Mực nước gia cường kiểm tra (P=0,2%)	m	+139,70
5	Mực nước gia cường thiết kế (P=1,0%)	m	+138,74
6	Mực nước dâng bình thường	m	+138,00
7	Mực nước chết	m	+116,50
II	**Đập đất nhánh phải**		
1	Cao trình đỉnh đập	m	141,00
2	Cao trình đỉnh tường chắn sóng	m	141,50
3	Tổng chiều dài đỉnh đập	m	1029,0
4	Chiều cao đập lớn nhất Hmax	m	33,00
5	Chiều rộng đỉnh đập	m	6,00
III	**Đập bê tông trọng lực không tràn**		
1	Cao trình đỉnh đập	m	141,00
2	Chiều cao đỉnh đập (kể cả 02 tràn xả lũ)	m	304,00
3	Chiều cao phần đập không tràn	m	237,20
4	Chiều cao đập lớn nhất Hmax	m	39,00,
5	Chiều rộng đỉnh đập	m	6,00

2. Đặc điểm địa chất công trình nền đập Hồ chứa nước Sông Than

Trên cơ sở kết quả khảo sát điều kiện địa chất công trình đập chính và các tuyến đập phụ, tuyến đường tránh ngập lòng hồ, địa tầng và tính chất cơ lý của khu xây dựng Hồ chứa nước Sông Than được mô tả trong bảng 2. Kết quả thí nghiệm thấm hiện trường của các lớp đất đá được thể hiện trong bảng 3. Kết quả cho thấy các lớp đất đá trong khu vực nghiên cứu có tính thấm nước từ yếu đến mạnh.

Bảng 2. Các loại đất đá phân bố khu vực công trình đầu mối

STT	KÍ HIỆU LỚP	CỘT ĐỊA TẦNG	MÔ TẢ	NGUỒN GỐC
1	1		Hỗn hợp sỏi, cuội, cát lẫn ít bụi sét, màu nâu vàng, xám trắng. Kết cấu kém chặt. Cuội sỏi có thành phần đa khoáng, chủ yếu là cát kết, thạch anh và đá granit cứng chắc, độ mài tròn tốt, đường kính từ 2-60mm, chiếm từ 35-80%. Diện phân bố hẹp dọc theo sông suối và thềm Sông Than với chiều dày thay đổi từ 0,5-1,7m.	Bồi tích (aQ)
2	1a		Á sét nhẹ lẫn cát, màu nâu vàng. Trạng thái dẻo mềm. Diện phân bố hẹp, chiều dày 0,4m.	
3	1b		Hỗn hợp cuội sỏi cát và ít đất á sét nhẹ, màu xám đen, nâu vàng. Cuội sỏi có thành phần đa khoáng, chủ yếu là cát kết, thạch anh và đá granit cứng chắc, độ mài tròn tốt, đường kính từ 2-10cm, chiếm từ 60-70%. Diện phân bố hẹp, chiều dày 2,6m.	
4	2		Đất á sét nặng màu xám nâu, xám trắng, đốm đen, đốm xanh, trạng thái cứng. Trong đất lẫn ít sạn sỏi nhỏ, đất ít ẩm. Diện phân bố hẹp ở hai bên thềm Sông Than và suối Sa Ru với chiều dày từ 0,5-3,1m.	
5	3		Đất sét lẫn ít dăm sạn màu xám nâu, nâu vàng, xám trắng, trạng thái cứng. Dăm sạn chủ yếu là đá cát kết, bột bột kết. Lớp phân bố chủ yếu trong khu vực thềm bờ phải sông Than. Chiều dày từ 0,3-2,5m.	
6	3a		Đất á sét trung-nặng lẫn dăm sạn, màu xám vàng, xám nâu, nâu vàng, xám trắng, trạng thái cứng. Dăm sạn chủ yếu là đá cát kết, bột kết, sét kết có đường kính từ 2-40mm, chiếm khoảng 35-50%, cứng chắc. Lớp phân bố rộng bên suờn đồi hai vai tuyến đập. Chiều dày mỏng, từ 0,3-2,8m.	Sườn tích - tàn tích (deQ)
7	3b		Hỗn hợp dăm sạn kết cấu chặt vừa - chặt và đất á sét nhẹ trạng thái cứng, màu xám vàng, xám nâu, nâu vàng, xám trắng. Dăm sạn chủ yếu là đá cát kết, bột kết, sét kết có đường kính từ 2-40mm, chiếm khoảng 35-60%, cứng chắc. Lớp phân bố rộng bên suờn đồi hai vai tuyến đập. Chiều dày mỏng, từ 0,3-3,4m.	
8	4		Á sét nhẹ-trung chứa dăm sạn, màu nâu đỏ, xám nâu. Đất ít ẩm-ẩm, trạng thái cứng. Dăm sạn là các mảnh đá cát bột kết phong hóa còn sót lại khá mềm bở, d=0,2-10cm, chiếm 35-40%. Hàm lượng dăm sạn phân bố không đều trong tầng.	Tàn tích (eQ)
9	6		Đới đá phong hóa mạnh (HW): Đá cát bột kết phong hóa mạnh. Nõn khoan dạng dăm cục còn khá cứng, đường kính từ 2-4cm chiếm khoảng 40-45%, phần còn lại dạng á sét nhẹ, màu xám vàng, đốm đen, trạng thái khô cứng.	Hệ tầng La Ngà (J_2ln)
10	7		Đới đá phong hóa vừa (MW): Đá cát bột kết phong hóa vừa, màu xám đen, xám xanh, xám vàng, đá còn tương đối cứng chắc, nõn khoan dạng dăm cục đến tròn thỏi dài từ 10-30cm, đá nứt nẻ mạnh, khe nứt mở chứa oxit sắt màu xám đen, xám vàng, khe nứt chủ yếu xiên góc 80-85° và 5-10° so với phương nằm ngang.	
11	8		Đới đá phong hóa nhẹ (SW): Đá cát bột kết màu xám đen, xám xanh, xám trắng, cấu tạo phân lớp dày từ 10-30cm, đá cứng chắc, nõn khoan dạng thỏi, nứt nẻ trung bình đến ít nứt nẻ, khe nứt kín chứa fenspat, các khe nứt xiên theo 3 hệ thống chính: 5-10^{O}; 40-45^{O} và 80-85^{O} so với phương nằm ngang.	
12	9		Bazan olivine kiềm, hyalobazan màu xám đen, xám trắng xen những tầm, hạt nhỏ màu trắng. Đá phong hóa nhẹ, cứng chắc, cấu tạo khối, kiến trúc porphyr với nền thủy tinh bị biến đổi. Đá sủi bọt khá mạnh với HCl 5%. Chiều dày từ 40-100m.	Hệ tầng Xuân Lộc ($bQ_{II}xl$)
13	10		Granit porphyr dạng đai mạch màu trắng đục, hạt nhỏ mịn, kiến trúc porphyr với nền granophyr và hạt nhỏ, cấu tạo khối cứng chắc. Các mạch rộng từ vài cm đến hàng chục mét, kéo dài hàng trăm mét, ở rìa mạch thường có dạng dải mỏng.	Phức hệ Đèo Cả ($\gamma\rho-\gamma\pi K\ đc$)
14	11		Đới phá hủy kiến tạo: đới có chiều dày biểu kiến từ 0,3m đến trên 1,0m, thành phần bên trong đới gồm đất á sét nặng lẫn khoảng 5-10% dăm sạn, màu xám vàng loang lổ đốm trắng, mềm bở.	

Bảng 3. *Hệ số thấm trung bình của các lớp đất đá*

TT	Lớp đất, đới đá	Hệ số thấm K (m/ngđ)	Giá trị Lu (uL)	Đánh giá theo Mục 4.1.8 TCVN 8732:2012
1	Lớp 1 (sỏi, cuội, cát lẫn ít bụi sét)	8,10		Tính thấm cao
2	Lớp 1b (sỏi, cuội, cát lẫn ít bụi sét)	0,86		Tính thấm vừa
3	Lớp 3a (á sét trung - nặng)	0,38		Tính thấm vừa
4	Lớp 3b (hỗn hợp á cát và dăm sạn)	0,30		Tính thấm vừa
5	Lớp 4 (Cát kết phong hóa hoàn toàn (CW))	0,97		Tính thấm cao
6	Lớp 6 (Cát kết phong hóa mạnh (HW))	1,01		Tính thấm cao
7	Lớp 7 Cát bột kết phong hoá vừa (MW)		41,08	Tính thấm vừa
8	Giữa lớp 7 và lớp 8 Cát bột kết phong hóa vừa - nhẹ (MW-SW)		3,71	Tính thấm vừa
9	Lớp 8 Cát bột kết phong hoá nhẹ (SW)		6,26	Tính thấm vừa
10	Lớp 9 Bazan phong hóa nhẹ (SW)		1,5	Tính thấm vừa
11	Lớp 11 (Đới phá hủy kiến tạo)	1,16		Tính thấm cao

3. Đánh giá vấn đề thấm mất nước hồ chứa nước Sông Than

Tại vị trí dự kiến xây dựng đập Sông Than tạo hồ chứa nước nằm cách điểm hợp lưu của 2 con sông chính là sông Than và suối Sa Ru khoảng 600m về phía thượng lưu. Các sông này đều chảy từ các dãy núi cao, có cao độ từ 200m trở lên, có đỉnh tới 1.528,44m.

Phía Bắc, lưu vực sông Than ngăn cách với lưu vực sông Cái là dãy núi Ngà, Hòn Đỏ có cao độ từ 222 - 1,131m, bề dày bờ hồ từ 3km đến trên 10km. Đất đá cấu tạo lên bờ hồ phía này đều là các loại đá đá trầm tích, đá Magma có tuổi Jura và Creta. Phía Tây ngăn cách với lưu vực sông Đồng Nai là dãy núi Chubou, Gia Vá có cao độ từ 1169,50 đến trên 1331m, dải bờ hồ phía này rất dày, tới trên 20km. Đất đá cấu tạo lên bờ hồ phía này đều là các loại đá trầm tích có tuổi Jura. Phía Nam và phía Đông Nam ngăn cách với lưu vực sông Cái là các dãy núi Ma Rông, Hòn Diên, Tha Tou, Kon Lom và núi Chột có cao độ từ 290 đến trên 1.528,44m. Đất đá cấu tạo lên bờ hồ phía này đều là các loại đá trầm tích, đá Magma có tuổi Jura và Creta. Từ những điều kiện về địa hình nêu trên, đường thoát nước duy nhất của hồ chứa là dọc theo dòng sông Than, suối Sa Ru là qua nền đập.

Tại vị trí xây dựng đập đất nhánh phải, đáy đập sẽ được đặt vào lớp đá nền phong hoá vừa (7) hoặc phong hoá nhẹ (8). Đối với đập bê tông trọng lực không tràn (nhánh trái sông Than), đáy đập được đặt trên nền đá gốc phong hóa nhẹ lớp (8), một số đoạn đập nền là đới đá phong hóa vừa (7) khá dày bên thềm phải đáy đập đặt vào phần dưới của đới đá phong hóa vừa (7).

Hiện tượng thấm mất nước qua nền đập phổ biến ở nhiều công trình có điều kiện tương tự, như đập Dầu Tiếng (Tây Ninh) ghi nhận hệ số thấm của lớp đá phong hóa từ $1,0\times10^{-4}$ m/s đến $1,8\times10^{-3}$ m/s, nền đá phong hóa vừa - nhẹ đã gây rò rỉ nước qua khe nứt và phải xử lý bằng khoan phụt vữa xi măng - sét. *(Theo Trần Anh Dũng, 2012);* tại hồ thủy điện Hòa Bình, thấm qua nền đập trên đá phong hóa vừa gây thất thoát nước đáng kể, với lưu lượng thấm đo được lên đến 5 l/s tại một số vị trí trước khi xử lý bằng khoan phụt *(theo Trần Anh Dũng, 2012)*. Điều này cho thấy nguy cơ tương tự tại sông Than do đặc điểm địa chất tương đồng.

Bên cạnh đó, khi hồ dâng nước, cần lưu ý khả năng thấm vòng qua hai vai đập, nhất là khu vực có lớp á sét, á cát dăm sạn (lớp 3a-3b) với K = 0,3-0,38 m/ngđ, có thể tạo dòng thấm ngang dọc theo tiếp giáp thân đập - vai đập.

Mặc dù kết quả phân tích cho thấy không xảy ra thấm mất nước sang các khu vực lân cận, song khi hồ dâng nước, vẫn có khả năng xuất hiện dòng thấm cục bộ qua hai vai đập. Hiện tượng

này có thể xảy ra tại vùng tiếp giáp giữa thân đập và sườn đồi, nơi phân bố các lớp á sét, á cát dăm sạn (lớp 3a-3b) với K = 0,3-0,38 m/ngđ và đá phong hóa vừa đến nhẹ (lớp 7 và 8) tại nền đập, còn khu vực vai đập chủ yếu là đá gốc ít nứt nẻ, do đó nguy cơ thấm qua vai đập là thấp.

Với những nhận xét trên thì việc mất nước từ hồ sang các thung lũng bên cạnh là không xảy ra. Do đó, hiện tượng mất nước hồ chứa là do khả năng thấm mất nước qua nền đập nên cần có biện pháp xử lý thích hợp.

4. Đề xuất giải pháp xử lý thấm qua nền đập Hồ chứa nước Sông Than

4.1 Các giải pháp xử lý thấm qua nền đập

Hiện nay, để chống thấm cho công trình đập, đã có rất nhiều giải pháp được ứng dụng. Các giải pháp này đã được đề cập trong TCVN 8216:2018.

4.1.1 Xử lý nền đá

Xử lý nền đá thường bao gồm công tác xử lý gia cường mặt nền, đứt gãy và nứt nẻ, tạo màn chống thấm và gia cố các tầng mềm yếu liên tục có phạm vi phân bố rộng, có thể nằm bất lợi đối với các đập cao.

Trong nền đá phong hóa nứt nẻ có nhiều khả năng diễn ra thấm nguy hiểm thì cần phải làm kết cấu chân khay và màn chống thấm dưới nó, cũng cần phụt vữa gia cố nền ở vùng tiếp giáp với bộ phận chống thấm của đập. Trong các điều kiện nền có lượng thấm nước đơn vị lớn trên 0,05 l/min và tình hình dưới đây cần khoan phụt hóa chất chuyên dụng để xử lý:

- Độ rộng khe nứt lớn hơn từ 0,15 mm đến 0,25 mm dùng vữa xi măng khoan phụt tạo màn chống thấm, khe nứt nhỏ dưới 0,15 mm thì dùng hóa chất chuyên dụng hoặc khoan phụt hóa chất bổ sung nhằm làm tăng thêm mật độ kín nước cho khoan phụt vữa xi măng;

- Khi nước ngầm ở khu vực khoan phụt có lưu tốc thực tế nhỏ hơn 7 cm/s mới có thể dùng vữa xi măng. Khi lớn hơn trị số này thì phải có phụ gia đông kết nhanh trộn vào vữa xi măng hoặc phải dùng hóa chất chuyên dụng. Khả năng và hiệu quả khoan phụt phải thông qua thí nghiệm để quyết định;

- Nếu nước ngầm ở vùng đập có tính ăn mòn thì phải dùng loại xi măng có tính chống ăn mòn hoặc dùng vữa hóa chất thích hợp. Khi sử dụng vữa hóa chất để khoan phụt phải xem xét vấn đề ô nhiễm môi trường.

4.1.2 Xử lý nền đất bồi tích

Xử lý chống thấm nền bồi tích chủ yếu là khống chế dòng thấm phòng chống mất nước quá mức cho phép và phòng chống các hiện tượng xói ngầm gây mất ổn định nền làm phá hoại công trình.

Hình thức kết cấu xử lý chống thấm nền bồi tích:

** Sân phủ thượng lưu nên kết hợp với tường nghiêng chống thấm*

Biện pháp này được áp dụng khi: Nền bồi tích khá dày hoặc gần như vô hạn; có sẵn đất chống thấm thích hợp và gần đập; đập vừa và thấp.

Sân phủ thượng lưu nên có chiều dài từ 3H đến 6H và chiều dày khoảng 1/10H nhưng không được nhỏ hơn 0,5 m (H là cột nước lớn nhất của Đập). Chiều dày nên tăng dần từ thượng lưu xuống hạ lưu nối tiếp với tường nghiêng (nếu có).

** Tường răng*

Tường răng là biện pháp phổ biến, đơn giản và có hiệu quả nhất khi nền thấm có chiều dày dưới 10 m hoặc cá biệt đến 15 m, nhưng mực nước ngầm thấp, điều kiện thi công thuận lợi bằng phương pháp đào lộ thiên và đắp lại bằng đất chống thấm. Tường răng cần đảm bảo 4 yêu cầu sau:

- Đáy tường răng sau khi đào đến cao độ thiết kế trong lớp nền không thấm cần phải dọn sạch sẽ;

- Đất đắp phải có chất lượng cao;

- Đất được đắp trong điều kiện khô ráo và được đầm nén chặt;

- Đảm bảo không bị phá hoại dưới tác dụng của dòng thấm.

Tường răng phải cắm vào nền không thấm với độ sâu T như sau:

- T = 0,5 m nếu là đá tươi hoặc đá phong hóa nhẹ;

- T > 0,5 m nếu là đá phong hóa mạnh, kèm theo có biện pháp xử lý thấm thích hợp đối với nền đá;

- T ≥ 1,0 m đối với nền đất.

* *Màn chống thấm bằng khoan phụt dịch sét - xi măng*

Biện pháp này thích hợp khi nền bồi tích dày trên 10m, phía dưới là đá nứt nẻ mạnh hoặc trong nền có lẫn đá dăm, đá tảng lớn, hoặc nước ngầm có tính ăn mòn mạnh đối với kim loại. Việc khoan phụt tạo màn chống thấm cần tiến hành khi chưa hình thành dòng thấm trong nền, tức là xử lý trước khi đắp đập.

Vị trí màn chống thấm cũng bố trí tương tự như trong trường hợp xử lý nền đá.

Màn chống thấm phải cắm sâu vào lớp không thấm tương đối dưới nền bồi tích với độ sâu đảm bảo không gây xói ngầm cho các lớp không thấm.

Để đánh giá khả năng khoan phụt tạo màn chống thấm ở nền bồi tích, trước tiên có thể xem xét vị trí số khoan phụt M:

$$M = \frac{D_{15}}{D_{85}}$$

Trong đó:

+ D15 là đường kính hạt có 15% trọng lượng hạt trong tầng nền cần xử lý nhỏ hơn đường kính hạt này, tính bằng milimét;

+ D85 là đường kính hạt có 85% trọng lượng hạt trong dung dịch phụt nhỏ hơn đường kính hạt này, tính bằng milimét.

Khi M > 15 có thể phụt vữa xi măng, M > 10 có thể phụt vữa xi măng - sét.

Màn chống thấm cần đáp ứng các yêu cầu sau:

- Về độ dày, sơ bộ xác định theo công thức 3.5.

$$T = \frac{H}{J}$$

Trong đó:

+ H là cột nước tác dụng lớn nhất, m;

+ J là građient cho phép của màn phụt, đối với dung dịch xi măng-sét có thể lấy J ≤ từ 3 đến 4.

* *Tường hào xi măng - bentonit*

Thích hợp với mọi loại hình nền bồi tích về độ sâu, thành phần hạt, mực nước ngầm, v.v... nên áp dụng cho các loại đập cấp I, II trên nền bồi tích dày.

Tường hào xi măng - bentonit dày khoảng 0,6 m đến 1,2 m. Đáy tường hào cần cắm sâu vào nền đá có đới thấm ít từ 0,5 m đến 1,0 m, nếu gặp tầng phong hóa sâu và đới đứt gãy nhàu nát cần cắm sâu hơn căn cứ chiều cao đập và tình hình nhàu nát của đứt gãy. Đỉnh tường cắm vào bộ phận chống thấm của đập (tường lõi hoặc tường nghiêng) tối thiểu 2 m. Trong mọi trường hợp độ sâu xử lý không vượt 1H.

* *Tường chống thấm bằng cừ thép*

Có thể áp dụng khi đập đất chỉ cần chống thấm trong phạm vi lớp bồi tích, trong lớp đó không có đá tảng, đá lăn, chiều dày lớp bồi tích phù hợp với chiều dài thông dụng của cừ thép và có luận

chứng kinh tế. Khi sử dụng cừ thép cần có mũ cừ thích hợp bằng bê tông cốt thép hoặc đất sét luyện để chống thấm.

** Tường chống thấm bằng trụ xi măng - đất*

Phương pháp này áp dụng trong nền bồi tích khi đủ luận cứ về điều kiện kinh tế - kỹ thuật, ngoài ra khi thiết kế tường chống thấm bằng trụ đất - xi măng, cần phải xem xét điều kiện bền về ứng suất và biến dạng của nó để không xảy ra tình trạng gãy, nứt (đặc tính giòn dễ gãy của trụ xi măng - đất).

4.1.3 Xử lý nền đất mềm yếu

Đất mềm yếu có nhiều dạng do sự hình thành rất khác nhau. Để đáp ứng chất lượng nền đập cần phải có các chuyên đề nghiên cứu riêng.

Đất sét mềm yếu có cường độ kháng cắt rất thấp, tính nén lún cao, nói chung không nên dùng làm nền đập. Đối với đập thấp, phải sử dụng biện pháp xử lý thích hợp và qua luận chứng kinh tế - kỹ thuật.

Đập đất nằm trên nền đất yếu thường phù hợp với đập đồng chất hoặc đập có tường lõi, lúc đó, độ ẩm của đất đắp chọn thiên về nhánh ướt so với độ ẩm tối ưu để dễ thích nghi với độ lún tương đối lớn và không đều do nền đất yếu gây ra.

Đối với nền mềm yếu, nên đào bỏ hết tầng này. Nếu độ dày quá lớn, diện phân bố rộng, khó có thể đào bỏ hết thì có thể dùng các biện pháp gia cố nền hay biện pháp thoát nước - cố kết nền kết hợp với điều chỉnh tốc độ thi công hợp lý và gia tải ở chân đập làm tăng cường độ của đất nền để đảm bảo độ ổn định trong quá trình đắp đập và khi đi vào vận hành.

4.2 Đề xuất giải pháp xử lý thấm qua nền đập Hồ chứa nước Sông Than

Để xử lý thấm cho đập có thể sử dụng các phương pháp khác nhau như đã trình bày ở mục 4.1. Tại hồ chứa nước sông Than, cả đập đất và đập bê tông trọng lực đều được đặt trên nền đá phong hóa vừa đến nhẹ. Do đó, biện pháp xử lý thấm bằng khoan phụt có tính khả thi cao nhất. Đây cũng là giải pháp đã được thực hiện để xử lý chống thấm cho nhiều công trình đập ở Việt Nam như đập Hòa Liên - Đà Nẵng (Thái Quốc Hiền và nnk., 2023), đập Tây Nguyên - Nghệ An (Nguyễn Như Huy, 2014), đập hồ Dầu Tiếng-Tây Ninh (Trần Anh Dũng, 2012) và nhiều công trình đập thủy điện như đập thủy điện Hòa Bình, Sơn La, Lai Châu… (Hình 2).

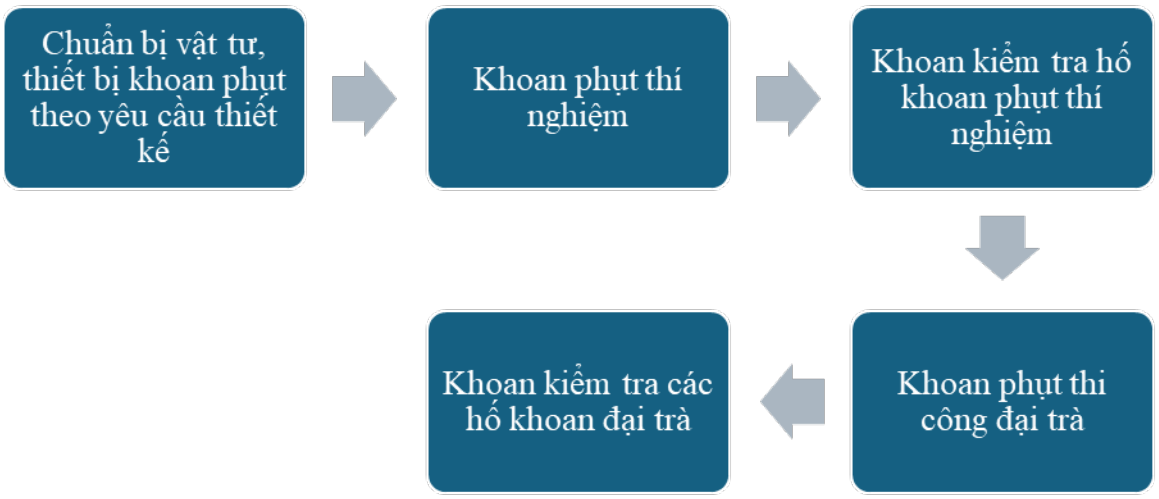
Hình 2. Khoan phụt chống thấm cho nền đập

Khoan phụt có thể theo phương pháp truyền thống phân đoạn từ trên xuống, phụt phân đoạn từ dưới lên, khoan phụt 2 nút, khoan phụt tuần hoàn bịt nút miệng hố phân đoạn từ trên xuống, phương pháp khoan phụt GIN (grouting intensity number) (TCVN 8645-2019)... Để đáp ứng yêu cầu khai thác công trình thì khoan phụt xử lý thấm là giải pháp phù hợp, song để đảm bảo hiệu quả về kỹ thuật và kinh tế cần chọn phương pháp, kỹ thuật phụt phù hợp.

Khoan phụt truyền thống phân đoạn từ trên xuống hoặc dưới lên (phụt 01 nút) áp dụng hiệu quả trong tầng đất, đá nứt nẻ có độ mở rộng khe nứt từ 0,1mm đến 10mm; Lượng mất nước đơn vị trong phạm vi từ 0.01l/ph/m.m đến 10l/ph/m.m và vận tốc chuyển động của nước ngầm nhỏ hơn 2.8×10^{-2} m/s; Thành phần hóa học của nước ngầm không phá hoại quá trình ninh kết và đông cứng của dung dịch vữa. Kỹ thuật thực hiện đơn giản: khoan hết chiều dài đoạn phụt, rửa lỗ khoan, hạ ống chèn và đưa bộ phụt xuống xiết bo trong chèn và tiến hành phụt. Chiều dài đoạn phụt thông thường từ 3m đến 5m. Áp lực phụt trung bình thường từ 0,75 - 5,0kG/cm^2. Biện pháp này đã được áp dụng xử lý thấm cho đập đất các công trình tương tự những năm gần đây có hiệu quả tốt.

Khoan phụt manchette (phụt 2 nút) có thể áp dụng xử lý thấm nền và thân đập, đặc biệt hiệu quả trong khoan phụt chống thấm tầng cát, cuội sỏi, dăm sạn có hệ số thấm lớn từ 90-390m/ngày đêm (>$1,04 \times 10^{-1}$ m/s đến $4,51 \times 10^{-1}$ m/s) mà các phương pháp khoan phụt khác không hiệu quả. Tuy nhiên kỹ thuật thực hiện phức tạp, nhiều thao tác hơn như khoan tạo lỗ, rửa lỗ khoan, đặt ống manchette, bơm nước sạch vào đầy ống manchette, bơm vữa áo (bồi tường), sau 1-2 ngày mới tiến hành phụt vữa; chiều dài đoạn phụt ngắn, từ 0,33-0,5m; áp lực phụt ban đầu cao đến 15atm để phá lớp vữa bồi tường sau đó áp lực phụt từ 2-7kG/cm^2; phải tính thêm phần vật liệu ống nối, ống manchette và vữa áo,... do đó giá thành cao hơn khoan phụt 1 nút. Ngoài ra, hiện nay chưa có đơn giá, định mức và tiêu chuẩn áp dụng cho phương pháp khoan phụt 2 nút.

Căn cứ vào đặc điểm, điều kiện cụ thể của đất đá nền đập hồ chứa nước Sông Than và những phân tích nêu trên, để đáp ứng được yêu cầu về chất lượng, giá thành và cả tiến độ, đề xuất chọn phương pháp khoan phụt 01 nút (khoan phụt truyền thống phân đoạn từ trên xuống hoặc từ dưới lên) để xử lý thấm cho nền đập hồ chứa nước Sông Than. Sơ đồ các bước tiến hành khoan phụt được thể hiện trên Hình 3.



Hình 3. Sơ đồ các bước tiến hành khoan phụt chống thấm nền đập hồ chứa

5. Kết luận

Kết quả phân tích đặc điểm địa chất công trình kết hợp với việc tổng hợp và đánh giá các tài liệu liên quan cho thấy:

Hồ chứa nước sông Than có nguy cơ thấm mất nước qua nền đập do đáy đập đặt trên các lớp đá phong hóa vừa đến nhẹ. Do đó, việc áp dụng các giải pháp xử lý chống thấm nền đập là hết sức cần thiết nhằm bảo đảm an toàn công trình và hiệu quả khai thác.

Hiện nay, có nhiều giải pháp kỹ thuật có thể áp dụng để xử lý thấm nền đập. Trên cơ sở phân tích điều kiện địa chất công trình và so sánh tính ưu việt của các giải pháp, nghiên cứu này đề xuất áp dụng phương pháp khoan phụt 1 nút để hình thành màn chống thấm liên tục, hạn chế thất thoát nước và nâng cao độ ổn định lâu dài của đập.

Tài liệu tham khảo

Nguyễn Tấn Sơn (2022). Nghiên cứu khả năng mất nước và thiết kế giải pháp xử lý thấm nền đập hồ chứa nước Sông Than, xã Hòa Sơn, huyện Ninh Sơn, tỉnh Ninh Thuận. Luận văn Thạc sỹ Kỹ thuật địa chất, Trường Đại học Mỏ- Địa chất

Nguyễn Như Huy (2014). Nghiên cứu công nghệ thi công khoan phụt vữa xử lý chống thấm đập Tây Nguyên - Nghệ An. Luận văn thạc sỹ kỹ thuật-Trường Đại học Thủy Lợi

Thái Quốc Hiền, Nguyễn Đình Trọng, Đặng Văn Kiên (2023). Giải pháp xử lý chống thấm khoan phụt đập dâng Hòa Liên. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi số Đặc biệt - 2023

Trần Anh Dũng (2012). Nghiên Cứu Đề Xuất Giải Pháp Xử Lý Chống Thấm Cho Đập Phụ Hồ Chứa Nước Dầu Tiếng Tỉnh. Luận văn thạc sỹ kỹ thuật-Trường Đại học Thủy Lợi

TCVN 8645:2019 Công trình thủy lợi - Thiết kế, thi công.

TCVN 8216:2018 Công tình thủy lợi thiết kế đập đầm nén.

TCVN 8732:2012 Đất xây dựng công trình thủy lợi - Thuật ngữ và định nghĩa.

TCVN 9148:2012 Công trình thủy lợi - Xác định hệ số thấm của đất đá chứa nước bằng phương pháp hút nước thí nghiệm từ các lỗ khoan.

Study and proposal of seepage treatment solutions for the dam of Than river reservoir, Khanh Hoa Province

Pham Thi Ngoc Ha[1], Nguyen Tan Son[2], Bui Truong Son[1], Nguyen Thanh Duong[1,*]

[1]Hanoi University of Mining and Geology

[2]Nam Mien Trung Co., Ltd.

**Corresponding author: Email: nguyenthanhduong@humg.edu.vn*

Abstract

The Than river reservoir was constructed in Hoa Son Commune (now Anh Dung Commune), Khanh Hoa Province, with the objective of providing a stable water source to support agricultural production and promote local socio-economic development. For reservoir dams, control of the seepage through the foundation is a critical task that directly affects both the safety and operational efficiency of the structure. This paper presents the results of a study on seepage potential through the foundation of the Than River Reservoir dam and proposes an appropriate treatment solution. Geotechnical analysis indicates that the dam foundation is susceptible to seepage and water loss due to the dam base being located on moderately to slightly weathered rock layers. Based on an evaluation of the advantages, limitations, and feasibility of different anti-seepage methods, the study proposes the application of a single-row grout method to form a continuous and effective cut-off barrier. This solution is expected to enhance the long-term stability of the dam, minimize water loss, and ensure structural safety. The research results provide both scientific and practical foundations for selecting suitable seepage treatment technologies for reservoirs located in similar geological conditions.

***Keywords**:* Than river reservoir, seepage, anti-seepage treatment method, single-row grouting.

NGHIÊN CỨU ĐỊA KỸ THUẬT PHỤC VỤ QUY HOẠCH XÂY DỰNG ĐÔ THỊ ÁP DỤNG CHO PHƯỜNG HẢI DƯƠNG, THÀNH PHỐ HẢI PHÒNG

Đỗ Hồng Thắng[1,2*]

[1]*Trường Đại học Thành Đông;*

[2]*Công ty CP Khảo sát thiết kế xây dựng Đất Việt*

**Tác giả liên hệ: Email: Thangdcct@gmail.com*

Tóm tắt

Bài báo trình bày nội dung nghiên cứu Địa kỹ thuật (ĐKT) phục vụ quy hoạch xây dựng đô thị. Nghiên cứu ĐKT là yếu tố cốt lõi, cung cấp những cơ sở khoa học để phân tích các đặc điểm môi trường địa chất (MTĐC) và hệ thống kỹ thuật (HTKT) công trình (đã và sẽ xây dựng trong tương lai) nhằm khai thác và sử dụng hợp lý phạm vi nghiên cứu. Trong nghiên cứu, tác giả đã sử dụng cách tiếp cận "Lý thuyết hệ thống" để phân tích làm sáng các nội dung nghiên cứu ĐKT. Các nội dung nghiên cứu ĐKT bao gồm: 1- Các đặc điểm MTĐC, HTKT công trình và các yếu tố ảnh hưởng đến MTĐC (Điều kiện địa kỹ thuật); 2- Nghiên cứu mối tương tác hai chiều giữa MTĐC và HTKT công trình (vấn đề địa kỹ thuật); 3- Nghiên cứu tính toán thiết kế tối ưu hóa nền móng công trình (tối ưu hóa điều khiển hệ thống); 4- Bài báo trình bày kết quả ứng dụng nghiên cứu điều kiện địa kỹ thuật Phường Hải Dương

Từ khóa: Địa kỹ thuật đô thị; lý thuyết hệ thống; điều kiện địa kỹ thuật; vấn đề địa kỹ thuật.

1. Đặt vấn đề

Nghiên cứa đặc điểm địa chất hay địa chất công trình đô thị từ lâu đã được thực hiện ở các tỉnh thành trước đây, đặc biệt là ở Cục Địa chất và khoáng sản Việt Nam. Vì vậy, mà hàng loạt các Bản đồ địa chất đô thị đã được thành lập. Tuy nhiên, việc nghiên cứu đặc điểm Địa kỹ thuật đô thị là một công việc còn mới mẻ. Trong báo cáo này, tác giả muốn trình bày các nội dung và kết quả nghiên cứu của mình về đặc điểm Địa kỹ thuật đô thị phục vụ quy hoạch và xây dựng, lấy ví dụ phường Hải Dương - TP. Hải Phòng.

2. Khái quát nội dung nghiên cứu Địa kỹ thuật đô thị

Hoạt động đời sống của con người ngày càng phát triển, kéo theo nhiều tác động tiêu cực làm biến đổi môi trường sống nói chung và MTĐC nói riêng. Để khai thác hợp lý và phát triển bền vững MTĐC đòi hỏi chúng ta phải có kế hoạch khai thác, quy hoạch sử dụng phù hợp trong các hoạt động xây dựng và khai thác kinh tế lãnh thổ. Do đó, khi nghiên cứu xây dựng quy hoạch đô thị cần xét mối quan hệ tương tác hai chiều (trong phạm vi ảnh hưởng) giữa MTĐC và hoạt động xây dựng, khai thác kinh tế lãnh thổ. Để nghiên cứu triệt để mối tương tác đó, bài báo tiếp cận lý thuyết hệ thống để phân tích làm sáng các nội dung nghiên cứu ĐKT khi quy hoạch xây dựng đô thị và thực tế ứng dụng vào quy hoạch Phường Hải Dương.

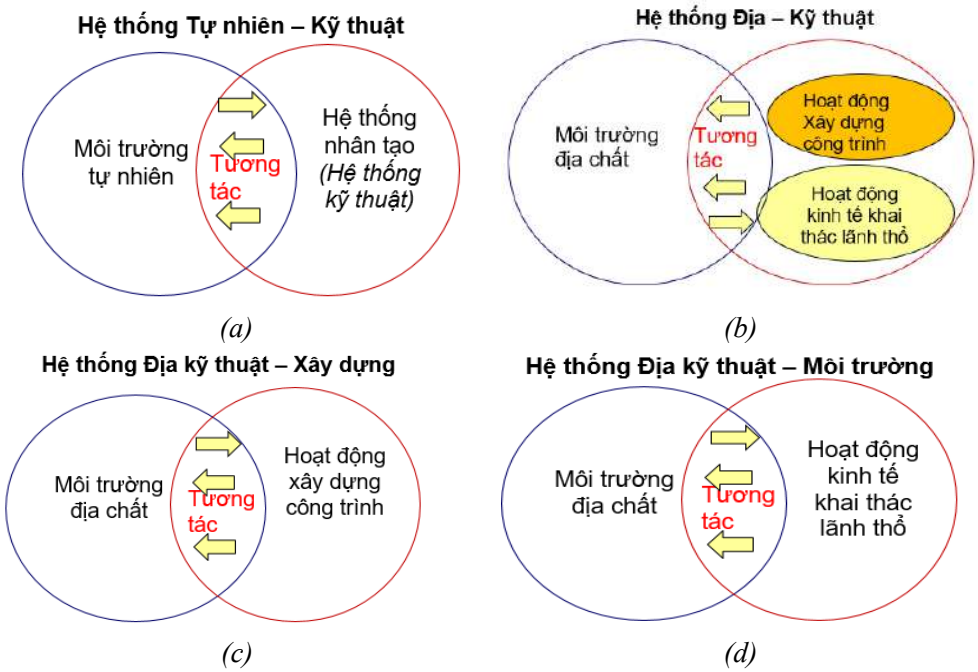
Khi nghiên cứu MTĐC phục vụ mục đích xây dựng công trình, không thể bỏ qua các mối quan hệ tương tác giữa MTĐC với môi trường sống của con người và ngược lại. Vấn đề này đã sớm được các nhà khoa học Nga quan tâm. Bondarik G.K, người tiên phong trong vấn đề này đã xây dựng học thuyết về "Địa hệ tự nhiên - Kỹ thuật". Ở Việt Nam, Phạm Văn Tỵ [4] đã đưa ra khái niệm "Địa hệ tự nhiên - kỹ thuật".

Theo lý thuyết hệ thống, Địa kỹ thuật xây dựng tập chung nghiên cứu, xem xét các giải pháp kỹ thuật tác động đến MTĐC do các hoạt động xây dựng, ta có hệ thống Địa kỹ thuật - Xây dựng (Hình 1c). Nếu chỉ xem xét các giải pháp kỹ thuật, công nghệ tác động đến MTĐC do các hoạt động kinh tế khai thác lãnh thổ, ta có hệ thống Địa kỹ thuật - Môi trường (hay Địa kỹ thuật môi trường) (Hình 1d).

Do vậy, các nội dung nghiên cứu ĐKT phục vụ quy hoạch xây dựng đô thị bao gồm:

- Các đặc điểm của MTĐC và đặc điểm HTKT (điều kiện địa kỹ thuật):

* Đặc điểm MTĐC bao gồm các yếu tố có ảnh hưởng đến việc khai thác hợp lý lãnh thổ nói chung, phục vụ cho xây dựng và bảo vệ môi trường. Các yếu tố đó bao gồm: cấu trúc địa chất nền; tính chất cơ lý của đất đá; nhóm các yếu tố khác có ảnh hưởng đến tính chất xây dựng của đất đá nền như địa hình địa mạo, địa chất thủy văn, khí tượng, thủy văn, vật liệu xây dựng, hoạt động kinh tế công trình của con người…



Hình 1. Sơ đồ từ hệ thống Địa hệ tự nhiên- kỹ thuật, đến hệ thống Địa kỹ thuật - Môi trường

* Đặc điểm HTKT: đó là sự tồn tại các dạng, quy mô, mật độ và đặc điểm phân bố các công trình xây dựng trên phạm vi nghiên cứu.

- Nghiên cứu mối tương tác giữa MTĐC và HTKT (vấn đề địa kỹ thuật): cần tính toán, đánh giá và dự báo sự ảnh hưởng của đặc điểm hệ HTKT đến MTĐC.

- Nghiên cứu tính toán, thiết kế và đề xuất các phương án nền móng tối ưu cho các công trình có quy mô khác nhau thuộc các dạng xây dựng khác nhau (tối ưu hóa điều khiển hệ thống).

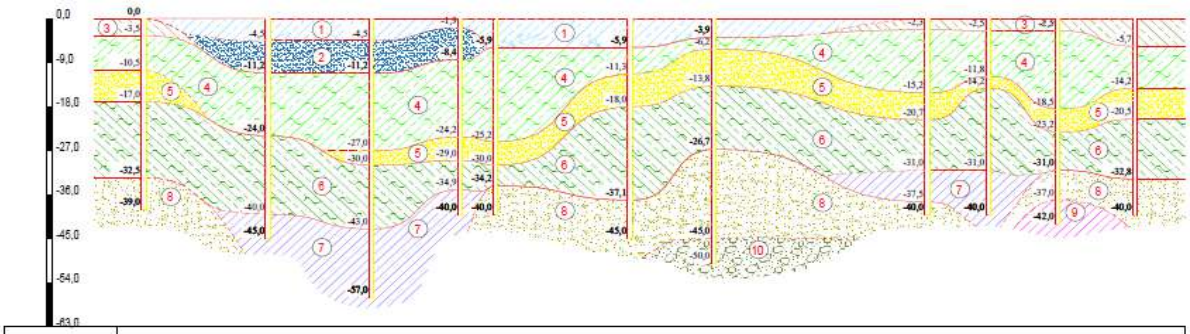
3. Kết quả nghiên cứu Địa kỹ thuật phục vụ quy hoạch và xây dựng Phường Hải Dương (trước đây là thành phố Hải Dương)

3.1 Đặc điểm môi trường địa chất

Đây là phụ hệ thống trong hệ thống địa kỹ thuật - xây dựng. Các đặc điểm được xét tổng quát bao gồm:

- *Đặc điểm địa chất Đệ tứ và tân kiến tạo:* Địa tầng trầm tích Đệ tứ: trong phạm vi nghiên cứu, địa tầng gồm 4 phân vị, từ cổ đến trẻ bao gồm các hệ tầng: Hà Nội ($Q_1^{2-3}hn$); Vĩnh Phúc (Q_1^3vp); Hải Hưng ($Q_2^{1-2}hh$) và Thái Bình (Q_2^3tb). Kiến tạo và tân kiến tạo: cấu tạo địa chất Hải Dương là cấu tạo chìm tương đối, nằm giữa hai đứt gãy Thanh Hà và Sông Lô. Phía Bắc có đứt gãy Bình Giang, phía Tây Nam bị đứt gãy Kim Động khống chế.

- *Đặc điểm địa tầng và tính chất xây dựng của đất nền:* Căn cứ kết quả nghiên cứu, địa tầng khu vực được chia thành 10 lớp đất như trong (Hình 2) chi tiết tuổi, nguồn gốc và tính chất cơ lý được trình bày trong (Bảng 1).



Hình 2. Mặt cắt địa chất công trình điển hình hướng Đông - Tây khu vực nghiên cứu

Bảng 1. *Tổng hợp chỉ tiêu cơ lý các lớp đất*

Tuổi, nguồn gốc		Thành phần hạt: Cuội (dăm) >10.0	Sỏi (sạn) 10.0-5.0	5.0-2.0	Cát 2.0-1.0	1.0-0.5	0.5 - 0.25	0.25 - 0.1	Bụi 0.1 - 0.05	0.05 - 0.01	0.01 - 0.005	Sét < 0.005	Các chỉ tiêu cơ lý của đất: Độ ẩm w	KL thể tích (Dung trọng) γ	KL thể tích khô γc	Khối lượng riêng (Tỷ trọng) γ2	Hệ số rỗng e	Độ lỗ rỗng n	Độ bão hòa Sr	Giới hạn chảy wl	Giới hạn dẻo wp	Chỉ số dẻo Ip	Độ sệt Il	Hệ số nén lún a1-2	Góc ma sát trong φ	Lực dính kết c	Góc nghỉ khô của cát φk	Góc nghỉ ướt của cát φư	Hệ số rỗng lớn nhất của cát emax	Hệ số rỗng nhỏ nhất của cát emin	Khối lượng TT khi khô max γcmax	Khối lượng TT khi khô min γcmin	Sức chịu tải quy ước R0	Mô đun tổng biến dạng E0
		%											%	g/cm³	g/cm³	g/cm³	-	%	%	%	%	%	-	cm²/kG	độ	kG/cm²	độ	độ	-	-	g/cm³	g/cm³	kG/cm²	kG/cm²
Thái Bình ($Q_2^3 tb$)	Lớp 1	Sét pha màu xám vàng, xám ghi, trạng thái dẻo nhão.																																
								3	15	27	27	9	19	33,3	1,82	1,37	2,68	0,962	49,0	92,6	36,4	22,7	13,7	0,78	0,046	9°39'	0,120							0,84	26,0
	Lớp 2	Cát hạt nhỏ màu xám đen, lẫn nhiều vỏ sò, trạng thái xốp																																
							6	24	58	12						2,65										32°21'	25°33	1,036	0,652	1,61	1,30		
Hải Hưng ($Q_2^{1-2} hh$)	Lớp 3	Sét pha màu xám vàng, xám nâu, trạng thái dẻo mềm.																																
								3	9	22	30	12	24	33,0	1,85	1,39	2,68	0,929	48,1	95,2	39,5	23,5	16,0	0,05	0,029	10°57'	0,158							1,05	86,0
	Lớp 4	Bùn sét pha màu xám ghi, xám đen.																																
								2	9	21	31	12	25	53,8	1,63	1,06	2,65	1,499	60,0	95,1	50,6	35,0	15,6	1,20	0,112	5°38'	0,060							0,46	14,0
	Lớp 5	Cát hạt nhỏ màu xám đen, xám ghi trạng thái chặt vừa																																
						6	16	27	39	12						2,65										32°21'	25°33	1,036	0,652	1,61	1,30		
Hà Nội ($Q_1^{2-3} hn$)	Lớp 6	Sét màu xám ghi, xám nâu trạng thái dẻo nhão.																																
									5	10	31	21	33	30,9	1,88	1,44	2,70	0,877	46,7	95,1	38,0	20,6	18,2	0,78	0,045	11°55'	0,169							1,15	118,0
	Lớp 7	Sét màu xám nâu, nâu đỏ loang lổ, trạng thái dẻo cứng.																																
									8	20	28	11	33	26,1	1,94	1,54	2,71	0,760	43,2	92,9	35,8	18,4	17,4	0,44	0,026	13°08'	0,192							1,33	159,0
	Lớp 8	Cát thô vừa màu xám vàng, trạng thái chặt vừa.																																
					12	20	23	27	18							2,65										33°41'	25°52	0,900	0,558	1,70	1,40		
Vĩnh Phúc ($Q_1^3 vp$)	Lớp 9	Sét màu xám vàng, xám nâu, trạng thái dẻo cứng.																																
										9	28	31	32	26,1	1,94	1,54	2,71	0,760	43,2	92,9	35,8	18,4	17,4	0,44	0,026	13°08'	0,192							1,33	159,0
	Lớp 10	Cát thô màu xám vàng, xám nâu, trạng thái chặt.																																
			4	16	21	21	18	11	9							2,65										30°40'	23°44	0,886	0,504	1,77	1,41		

Để đánh giá, so sánh chất lượng các loại đất khi sử dụng làm nền, thông thường phải dựa vào các thông số đặc trưng về độ bền và biến dạng của đất (R_o, E_o). Tổng hợp phân loại đất theo chất lượng xây dựng được trình bày chi tiết ở (Bảng 2).

Bảng 2. *Tổng hợp phân loại đất nền theo chất lượng xây dựng*

TT	Loại đất theo chất lượng XD	Ký hiệu	Tên lớp đất	**R_0** (kG/cm²)	**E_0** (kG/cm²)
1	Đất yếu	Y	Lớp 1: Sét pha màu xám vàng, xám ghi, trạng thái dẻo nhão	0,76	27,0
			Lớp 3: Sét pha màu xám vàng, xám nâu, trạng thái dẻo mềm.	0,94	80,0
			Lớp 4: Bùn sét pha màu xám ghi, xám đen	0,47	14,0
			Lớp 6: Sét màu xám ghi, xám nâu trạng thái dẻo nhão	0,79	24,0
2	Đất trung bình	TB	Lớp 2: Cát hạt nhỏ màu xám đen, lẫn nhiều vỏ sò, trạng thái xốp	1,2	53,0
			Lớp 5: Cát hạt nhỏ màu xám đen, xám ghi trạng thái chặt vừa.	1,4	67,0
3	Đất tốt	T	Lớp 7: Sét màu xám nâu, nâu đỏ loang lổ, trạng thái dẻo cứng.	1,61	136,0
			Lớp 8: Cát thô vừa màu xám vàng, trạng thái chặt vừa.	3,5	166,0
			Lớp 9: Sét pha màu xám vàng, xám nâu, trạng thái dẻo cứng.	1,56	174,0
			Lớp10: Cát thô màu xám vàng, xám nâu, trạng thái chặt.	4,5	292,0

- *Đặc điểm vật liệu xây dựng:* Trong phạm vi nghiên cứu, vật liệu xây dựng chính là đất sét sản xuất gạch ngói và cát xây dựng ở khu vực ven sông, phía ngoài đê sông Thái Bình.

- *Đặc điểm địa hình địa mạo:* Hải Dương nằm ở gần như trung tâm Đồng bằng Bắc Bộ, vì vậy bề mặt địa hình tương đối bằng phẳng, có hướng dốc thấp dần từ Tây Bắc xuống Đông Nam, khá thuận lợi cho giao thông đi lại và triển khai quy hoạch và xây dựng các công trình.

- *Đặc điểm địa chất thuỷ văn:* Trên cơ sở nghiên cứu đặc điểm thạch học, đặc điểm về tính thấm, tính chứa nước, đặc điểm thuỷ động lực, tác giả chia khu vực nghiên cứu thành 5 tầng chứa nước. Từ trên xuống gồm các tầng chứa nước: Thổ nhưỡng, Holocene (qh), Pleistocene (qp), Neogene (m) và Paleozoi (pl).

3.2 Các yếu tố ảnh hưởng đến môi trường địa chất

- *Khí hậu:* Khí hậu chia làm 2 mùa rõ rệt (mùa mưa và mùa khô). Do vậy, khi nghiên cứu điều kiện địa kỹ thuật khu vực này cần lưu ý đặc điểm dao động của mực nước ngầm, khả năng ngập úng cục bộ do biến đổi khí hậu, gây khó khăn cho công tác thi công nền móng.

- *Thủy văn:* Trên phạm vi nghiên cứu có 2 sông chính là Thái Bình và Sặt (Kim Sơn). Sông Thái Bình cùng với các chi lưu của nó, hình thành nên một trong 2 hệ thống sông lớn nhất ở Bắc Bộ.

- *Các hiện tượng địa chất động lực:* Trong khu vực nghiên cứu có các hiện tượng địa chất động lực phổ biến như xâm thực và bồi tụ; lầy hoá, úng lụt; động đất; cát chảy, xói ngầm…

- *Hiện tượng động đất:* Theo các tài liệu địa chấn và địa lý có từ trước đến nay thì diện tích đô thị nằm trong vùng động đất với MMax = 4,0 độ Richter, tâm chấn tiêu thay đổi từ 15 đến 20 km.

3.3 Phân chia cấu trúc nền

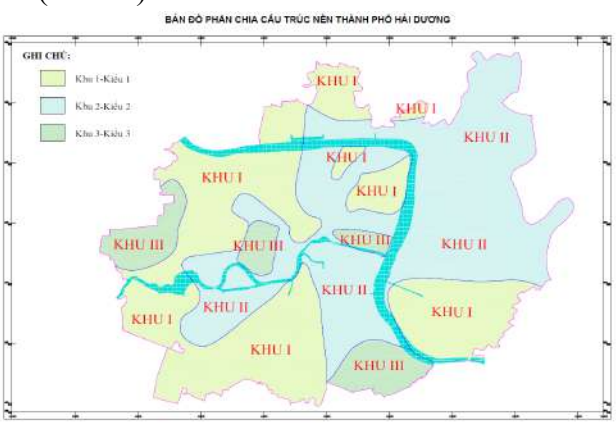
Căn cứ vào sự phân bố của các loại đất theo chiều sâu, chia khu vực Hải Dương thành 3 kiểu cấu trúc nền.

- *Kiểu cấu trúc nền I:* Nền được cấu tạo gồm 2 loại đất (Y,TB), loại đất yếu nằm ngay trên mặt, tiếp theo phía dưới là loại đất tốt. Thứ tự phân bố các lớp đất từ trên xuống: (Y→ T).

- *Kiểu cấu trúc nền II:* Nền được cấu tạo gồm 3 loại đất (Y, TB, T), trong đó loại đất yếu được chia thành 2 lớp Yếu (Y1 và Y2). Lớp Y1 nằm ngay trên mặt, lớp Y2 nằm kẹp giữa lớp đất trung bình (TB) và lớp đất tốt (T). Thứ tự phân bố các lớp đất từ trên xuống như sau: Y→TB→Y→T.

- *Kiểu cấu trúc nền III:* Nền có cấu tạo phức tạp nhất, gồm 3 loại đất (Y, TB, T), trong đó loại đất yếu và đất trung bình, mỗi loại đều được chia thành 2 lớp. Thứ tự phân bố các lớp đất từ trên xuống dưới như sau: Y→TB→Y→TB→Y→T.

Trên cơ sở các kiểu cấu trúc nền đó, chia khu vực Hải Dương thành 3 khu ĐKT (KHU I; KHU II, KHU III) tương ứng với các phần diện tích đất phân bố trong không gian có cấu trúc nền (kiểu 1; kiểu 2; kiểu 3). Sử dụng các phương pháp thành lập bản đồ đã tổng hợp và lập được bản đồ phân chia cấu trúc nền như (Hình 2).



Hình 2. Bản đồ phân chia cấu trúc nền thành phố Hải Dương

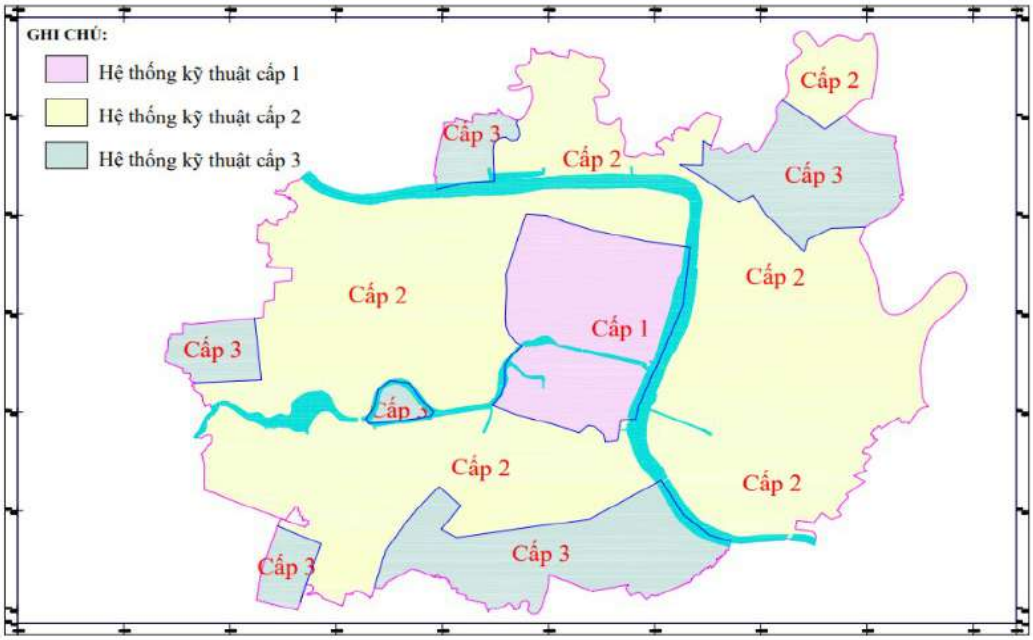
3.4 Đặc điểm hệ thống kỹ thuật công trình phường Hải Dương

Đây là phụ hệ thống trong hệ thống địa kỹ thuật - xây dựng. Các đặc điểm cần nghiên cứu bao gồm: hiện trạng sử dụng đất xây dựng và mật độ xây dựng phường Hải Dương; các loại công trình xây dựng và công nghệ thi công; định hướng xây dựng công trình theo quy hoạch đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050... Căn cứ vào các đặc điểm của hệ thống kỹ thuật, để đánh giá mức độ thuận lợi hay không thuận lợi khi xây dựng cũng như bảo vệ môi trường, đã phân hệ thống kỹ thuật khu vực phường Hải Dương thành 3 cấp (cấp 1 - khó khăn cho xây dựng và bảo vệ môi trường; cấp 2 - trung bình cho xây dựng và bảo vệ môi trường; cấp 3 - thuận lợi cho xây dựng và bảo vệ môi trường). Chi tiết cho các khu được trình bày trong (Bảng 3).

Bảng 3. *Kết quả phân cấp HTKT của các phân khu.*

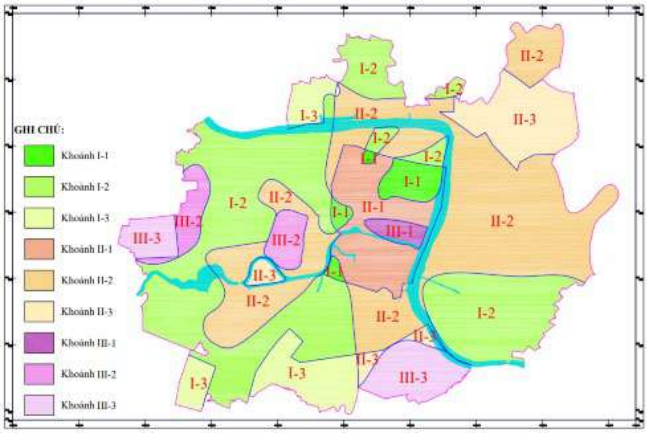
TT	Ký hiệu phân khu	Tên phân khu	Diện tích (ha)	Mật độ xây dựng trung bình (%)	Số tầng cao tối đa khu vực nhà ở đô thị	Số tầng cao tối đa khu đất dịch vụ công cộng, hỗn hợp	Phân cấp hệ thống kỹ thuật
1	A	Trung tâm tỉnh	121,76	30	5	35	Cấp 1
2	B0	Phía Bắc đường QL5	560,12	40	5	35	Cấp 2
3	B1	Đô thị hiện hữu 1	338,20	60	2	35	Cấp 1
…	….						
26	X	Lân cận KCN Việt Hòa				40	Cấp 2
27	Y	Lân cận KCN Đại An	203,78	60	1	40	Cấp 3
28	Z	Lân cận CCN Thạch Khôi - Gia Xuyên	148,75	60	1	40	Cấp 3

Căn cứ và diện phân bố các cấp hệ thống kỹ thuật, sử dụng các phương pháp thành lập bản đồ đã tổng hợp và lập được bản đồ phân khu hệ thống kỹ thuật phường Hải Dương (Hình 3).



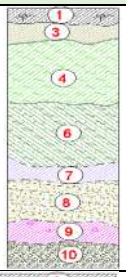
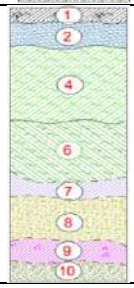
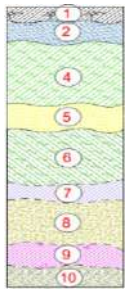
Hình 3. Bản đồ phân khu cấp hệ thống kỹ thuật phường Hải Dương

Sử dụng phương pháp thành lập bản đồ, trên cơ sở chập bản đồ phân chia cấu trúc nền (Hình 2) và bản đồ phân cấp hệ thống kỹ thuật (Hình 3) được bản đồ phân khu địa kỹ thuật. Kết quả nghiên cứu, đã phân khu vực nghiên cứu thành 3 khu và 9 khoảnh, chi tiết trong bảng 4 và được tổng hợp thành lập bản đồ phân khu ĐKT (Hình 4).



Hình 4. Bản đồ phân khu ĐKT phường Hải Dương

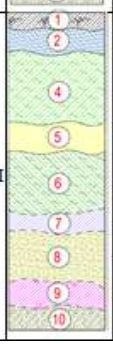
Bảng 4. *Thuyết minh phân khu ĐKT phường Hải Dương*

STT	Địa tầng		Khoảnh	Mật độ XD
Khu I		Lớp 1: Á sét xám vàng, xám ghi, trạng thái dẻo chảy. Lớp 3: Á sét màu xám vàng, xám xanh, trạng thái dẻo mềm. Lớp 4: Bùn á sét màu xám ghi, xám đen. Lớp 6: Á sét màu xám ghi, xám nâu trạng thái dẻo nhão. Lớp 7: Á sét màu xám nâu, nâu đỏ loang lổ, trạng thái dẻo cứng. Lớp 8: Cát thô vừa màu xám vàng, trạng thái chặt vừa. Lớp 9: Á sét màu xám vàng, xám nâu, trạng thái dẻo cứng. Lớp 10: Cát thô màu xám vàng, xám nâu, trạng thái chặt.	I-1	>50%
			I-2	30-50%
			I-3	<30%
Khu II		Lớp 1: Á sét xám vàng, xám ghi, trạng thái dẻo chảy. Lớp 2: Cát mịn màu xám đen, lẫn nhiều vỏ sò, trạng thái xốp. Lớp 4: Bùn á sét màu xám ghi, xám đen. Lớp 6: Á sét màu xám ghi, xám nâu trạng thái dẻo nhão. Lớp 7: Á sét màu xám nâu, nâu đỏ loang lổ, trạng thái dẻo cứng. Lớp 8: Cát thô vừa màu xám vàng, trạng thái chặt vừa. Lớp 9: Á sét màu xám vàng, xám nâu, trạng thái dẻo cứng. Lớp 10: Cát thô màu xám vàng, xám nâu, trạng thái chặt.	II-1	>50%
			II-2	30-50%
			II-3	<30%
Khu III		Lớp 1: Á sét xám vàng, xám ghi, trạng thái dẻo chảy. Lớp 2: Cát mịn màu xám đen, lẫn nhiều vỏ sò, trạng thái xốp. Lớp 4: Bùn á sét màu xám ghi, xám đen. Lớp 5: Cát mịn màu xám đen, xám ghi trạng thái chặt vừa. Lớp 6: Á sét màu xám ghi, xám nâu trạng thái dẻo nhão. Lớp 7: Á sét màu xám nâu, nâu đỏ loang lổ, trạng thái dẻo cứng. Lớp 8: Cát thô vừa màu xám vàng, trạng thái chặt vừa. Lớp 9: Á sét màu xám vàng, xám nâu, trạng thái dẻo cứng. Lớp 10: Cát thô màu xám vàng, xám nâu, trạng thái chặt.	III-1	>50%
			III-2	30-50%
			III-3	<30%

Hệ quả của mối tương tác hai chiều giữa MTĐC và công trình xây dựng làm biến đổi MTĐC gây ảnh hưởng đến công trình, do đó đã dự báo các vấn đề địa kỹ thuật có thể phát sinh khi xây dựng công trình ở phường Hải Dương. Qua đó đã đề ra các giải pháp thiết kế nền móng tối ưu cho các dạng công trình, được tổng hợp trong (Bảng 5).

Để phục vụ công tác quản lý quy hoạch và khải thác tốt môi trường địa chất, đã số hóa cơ sở dữ liệu thông tin về đặc điểm địa kỹ thuật, các vấn đề địa kỹ thuật và các phương án thiết kế xử lý nền móng tối ưu cho các dạng công trình, tiến đến lập phần mềm quản lý và tra cứu thông tin ĐKT phường Hải Dương HDGeo-IMS *(Geotechnical information management software of Hai Duong city*). Phần mềm được lập trình trên Website có kiến trúc khoa học, giao diện thân thiện, dễ sử dụng với cơ sở dữ liệu GIS, góp phần xây dựng cơ sở dữ liệu lớn (Bigdata), trong lĩnh vực ĐKT ở Việt Nam.

Bảng 5. *Tổng hợp các phương án thiết kế xử lý nền móng tối ưu cho các dạng công trình ở phường Hải Dương.*

STT	Địa tầng		Khoảnh	Mật độ XD	Công trình < 3 tầng	Công trình 3 -<5 tầng	Công trình 5-<15 tầng	Công trình > 15 tầng	Hố móng sâu	Hạ tầng (Công trình giao thông)
Khu I		Lớp 1: Á sét xám vàng, xám ghi, trạng thái dẻo chảy./ Lớp 3: Á sét màu xám vàng, xám xanh, trạng thái dẻo mềm. Lớp 4: Bùn á sét màu xám ghi, xám đen. Lớp 6: Á sét màu xám ghi, xám nâu trạng thái dẻo nhão. Lớp 7: Á sét màu xám nâu, nâu đỏ loang lổ, trạng thái dẻo cứng. Lớp 8: Cát thô vừa màu xám vàng, trạng thái chặt vừa. Lớp 9: Á sét màu xám vàng, xám nâu, trạng thái dẻo cứng. Lớp 10: Cát thô màu xám vàng, xám nâu, trạng thái chặt.	I-1	>50%	Sử dụng móng nông, nền mất ổn định, lún quá giới hạn. -Các phương án gia cố, cải tạo nền: +Cọc tre; +Đệm cát; +Đệm cát -xi măng.	-Sử dụng móng cọc bê tông; -Cọc đặt vào lớp 7; -Loại cọc D300; L=30m.	-Sử dụng móng cọc bê tông; -Loại cọc D400; L=40m, đặt cọc vào lớp 10; cọc khoan nhồi D400; L=40m, đặt cọc vào lớp 10.	-Sử dụng cọc khoan nhồi đường kính D>1000; L=55m, cọc đặt vào lớp 10.	-Sử dụng cừ lasen loại IV, dài >16m, kết hợp chống văng 2 tầng và gia cố chân cừ bằng cọc đất xi măng; hoặc tường cừ vĩnh cửu.	-Nền mất ổn định, lún quá giới hạn -Các phương án gia cố cải tạo nền: +Cọc đất xi măng; +Cọc cát, giếng cát
			I-2	30-50%						
			I-3	<30%			-Sử dụng móng cọc bê tông -Loại cọc D350; L=35m, Đặt vào lớp 8. Hoặc cọc D400; L=40m, đặt cọc vào lớp 10.			
Khu II		Lớp 1: Á sét xám vàng, xám ghi, trạng thái dẻo chảy. Lớp 2: Cát mịn màu xám đen, lẫn nhiều vỏ sò, trạng thái xốp. Lớp 3: Á sét màu xám vàng, xám xanh, trạng thái dẻo mềm. Lớp 4: Bùn á sét màu xám ghi, xám đen. Lớp 6: Á sét màu xám ghi, xám nâu trạng thái dẻo nhão. Lớp 7: Á sét màu xám nâu, nâu đỏ loang lổ, trạng thái dẻo cứng. Lớp 8: Cát thô vừa màu xám vàng, trạng thái chặt vừa. Lớp 9: Á sét màu xám vàng, xám nâu, trạng thái dẻo cứng. Lớp 10: Cát thô màu xám vàng, xám nâu, trạng thái chặt.	I-1	>50%		-Sử dụng móng cọc bê tông; -Cọc đặt vào lớp 2; -Loại cọc D300; L=13m.	-Sử dụng móng cọc bê tông; -Loại cọc D350; D400;hoặc cọc khoan nhồi D400, L=42m, đặt cọc vào lớp 10.	-Sử dụng cọc khoan nhồi đường kính D>1000; L=55m, cọc đặt vào lớp 10.	-Sử dụng cừ lasen loại IV, dài >12m, kết hợp chống văng 2 tầng và gia cố chân cừ	Nền ổn định, lún quá giới hạn. -Các phương án gia cố cải tạo nền: +Tăng chiều dày lớp đệm cát +Bấc thấm
			I-2	30-50%					-Sử dụng cừ lasen loại IV, dài 12m, kết hợp chống văng 2 tầng, tại -1.5m và-3m.	
			I-3	<30%			-Sử dụng móng cọc bê tông; -Loại cọc D350; D400, L=42m, đặt cọc vào lớp 10.			
Khu III		Lớp 1: Á sét xám vàng, xám ghi, trạng thái dẻo chảy. Lớp 2: Cát mịn màu xám đen, lẫn nhiều vỏ sò, trạng thái xốp. Lớp 3: Á sét màu xám vàng, xám xanh, trạng thái dẻo mềm. Lớp 4: Bùn á sét màu xám ghi, xám đen. Lớp 5: Cát mịn màu xám đen, xám ghi trạng thái chặt vừa. Lớp 6: Á sét màu xám ghi, xám nâu trạng thái dẻo nhão. Lớp 7: Á sét màu xám nâu, nâu đỏ loang lổ, trạng thái dẻo cứng. Lớp 8: Cát thô vừa màu xám vàng, trạng thái chặt vừa. Lớp 9: Á sét màu xám vàng, xám nâu, trạng thái dẻo cứng. Lớp 10: Cát thô màu xám vàng, xám nâu, trạng thái chặt.	I-1	>50%		-Sử dụng móng cọc bê tông; -Loại cọc D300; L=20m, Đặt vào lớp 5.	-Sử dụng móng cọc bê tông; -Loại cọc D400, hoặc cọc khoan nhồi D400, L=40m, Đặt vào lớp 7.	-Sử dụng cọc khoan nhồi đường kính D>1000; L=55m, cọc đặt vào lớp 10.	-Sử dụng cừ lasen loại IV, dài 12m, kết hợp chống văng 2 tầng, tại -1.5m và-3m.	-Nền ổn định, độ lún nhỏ -Không phải gia cố
			I-2	30-50%		-Sử dụng móng cọc bê tông; -Loại cọc D300; L=20m, Đặt vào lớp 5. Hoặc D300; L=9m, đặt cọc vào lớp 2.	-Sử dụng móng cọc bê tông; -Loại cọc D350; D400 L=35-40m, Đặt vào lớp 7.			
			I-3	<30%						

4. Kết luận

Khi nghiên cứu địa kỹ thuật cho xây dựng quy hoạch đô thị, khai thác lãnh thổ cần dựa trên lý thuyết hệ thống. Tiếp cận hệ thống là vận dụng cơ sở khoa học của phép biện chứng về sự thống nhất vật chất của thế giới, về các tương tác và mối liên hệ chung của các vật thể như phương thức phát triển vào biện luận, nghiên cứu, phân tích các đối tượng.

Nội dung nghiên cứu địa kỹ thuật cho đô thị là các đặc điểm môi trường địa chất, các yếu tố ảnh hưởng đến môi trường địa chất và hệ thống kỹ thuật (quyển kỹ thuật) đang và sẽ xây dựng trong tương lai (điều kiện địa kỹ thuật); Mối tương tác giữa các hợp phần trong hệ thống địa kỹ thuật - xây dựng và hệ quả của mối tương tác đó (vấn đề địa kỹ thuật); Lập cơ sở dữ liệu thông tin về quy hoạch xây dựng, điều kiện địa kỹ thuật, vấn đề địa kỹ thuật phụ vụ quản lý xây dựng và quy hoạch đô thị là rất cần thiết và có ý nghĩa thực tiễn góp phần xây dựng chính quyền điện tử và quản lý đô thị thông minh.

Tài liệu tham khảo

Đỗ Hồng Thắng, 2024. Nghiên cứu điều kiện địa kỹ thuật phục vụ quy hoạch và xây dựng thành phố Hải Dương. *Luận án tiến sĩ.*

Đỗ Hồng Thắng và nnk, 2022. Đặc điểm điều kiện địa kỹ thuật thành phố Hải Dương phục vụ quy hoạch xây dựng thành phố đến năm 2030. *Tuyển tập báo cáo hội nghị khoa học toàn Quốc ERSD 2022.*

Vũ Văn Tùng và nnk, 2021. Xây dựng hệ thống dữ liệu địa chất công trình trên địa bàn tỉnh Hải Dương. *Đề tài nghiên cứu khoa học cấp tỉnh, do Sở giao thông tỉnh Hải Dương chủ trì.*

Phạm Văn Tỵ năm, 2020. Cơ sở phương pháp luận Địa chất công trình. *NXB Xây dựng.*

Trần Mạnh Liểu, 2005. Hệ thống địa - kỹ thuật đê sông đồng bằng Bắc Bộ. *Hội nghị khoa học toàn quốc về Địa chất công trình và môi trường Việt Nam, Hà Nội.*

Geotechnical Study for Urban Development Planning: Application to Hai Duong Ward, Hai Phong City

Do Hong Thang[1,2]*

[1]*Thanh Dong University*

[2]*Dat Viet Survey and Construction Design JSC*

**Corresponding author: Email: thangdcct@gmail.com*

Abstract

This paper presents a geotechnical (ĐKT) study supporting urban development planning. Geotechnical is a core input that provides the scientific basis to analyze the geological environment (MTĐC) and the engineering infrastructure system (HTKT) of existing and planned works, enabling rational use of the study area. A systems-theory approach is adopted to clarify the scope of geotechnical work. The study covers: (1) characterization of the MTĐC, the HTKT, and factors influencing the MTĐC (geotechnical conditions); (2) analysis of two-way interactions between the MTĐC and the HTKT (geotechnical issues); (3) system-level optimization of foundation analysis and design; and (4) application results for the geotechnical conditions of Hai Duong Ward.

Keywords: Urban geotechnics; systems theory; geotechnical conditions; and geotechnical problems.

PHÂN TÍCH THẤM VÀ ỔN ĐỊNH ĐẬP ĐẤT TRONG TRƯỜNG HỢP MỰC NƯỚC THƯỢNG LƯU HẠ THẤP NHANH

Nguyễn Văn Hướng[1,*], Nguyễn Trung Quân[1], Nguyễn Thị Lộc[2], Nguyễn Văn Tươi[2], Nguyễn Quang Huy[3]

[1]Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng

[2]Trường Cao đẳng Giao thông Vận tải Trung ương V

[3]Yachiyo Engineering Co., Ltd, Japan

**Tác giả liên hệ: Email: nvhuong@dut.udn.vn*

Tóm tắt

Đập đất là hạng mục công trình chủ yếu trong hệ thống đầu mối hồ chứa, đóng vai trò quan trọng trong quản lý tài nguyên nước. Tuy nhiên, trong quá trình thi công và vận hành có thể xảy ra trường hợp mực nước hồ hạ thấp nhanh gây mất an toàn cho đập đất. Nghiên cứu này tập trung phân tích đặc trưng dòng thấm không ổn định và ổn định mái dốc của đập đất trong các kịch bản mực nước hồ hạ thấp nhanh. Phương pháp phần tử hữu hạn được sử dụng để mô phỏng quá trình thấm theo thời gian, đồng thời kết nối kết quả phân tích thấm để xác định độ ổn định mái đập bằng phương pháp cân bằng giới hạn có xét đến sự thay đổi áp suất nước lỗ rỗng. Kết quả cho thấy việc hạ thấp nhanh mực nước sẽ gây ra sự mất cân bằng áp lực nước lỗ rỗng trong khối đất hoặc cấu trúc chứa nước, khi đó, áp lực nước lỗ rỗng bên trong đất của mái đập thượng lưu chưa thể giảm theo kịp mực nước bên ngoài, gây ra hiện tượng áp lực nước dư (hay áp lực nước tạm thời), từ đó làm giảm sức kháng của đất tạm thời, làm tăng nguy cơ biến dạng thấm và mất ổn định mái đập thượng lưu.

Từ khóa: Đập đất; hạ thấp nhanh mực nước thượng lưu; phân tích thấm; ổn định mái đập đất; biến dạng thấm.

1. Đặt vấn đề

Đập là hạng mục công trình chủ yếu trong hệ thống đầu mối hồ chứa, giữ vai trò ngăn dòng, tích trữ và điều tiết nguồn nước. Công trình không chỉ đảm bảo cấp nước (tưới, phát điện, sinh hoạt,…) mà còn góp phần phòng chống lũ, cải thiện môi trường sinh thái và bảo đảm an ninh nguồn nước lâu dài. Mặc dù trong quá trình thiết kế đập đã có xét đến số an toàn theo QCVN 04-05:2022 (Cục Quản lý Xây dựng Công trình, 2022), nhưng những tình huống bất lợi gây mất an toàn thậm chí vỡ đập vẫn có thể xảy ra trong suốt quá trình xây dựng và vận hành của đập. Sự cố đập cũng có thể gây hậu quả đặc biệt nghiêm trọng (có thể xem là thảm họa), bao gồm tổn thất lớn về người, tài sản, gián đoạn sản xuất và suy thoái môi trường. Do đó, mức độ quan tâm đến an toàn đập ngày càng gia tăng trên phạm vi toàn cầu; tại Việt Nam, với hàng chục nghìn hồ chứa vừa và nhỏ, công tác đảm bảo an toàn đập luôn là nhiệm vụ trọng tâm trong quản lý tài nguyên nước và phòng chống thiên tai.

Trong tất cả các loại đập thì đập vật liệu địa phương (phần nhiều là đập đất) chiếm tỷ lệ lớn. Thật vậy, ở Việt Nam có khoảng 10.000 đập lớn nhỏ các loại, trong đó có khoảng gần 500 đập lớn đứng hàng thứ 16 trong số các nước có nhiều đập cao trên thế giới. Trong số các đập có chiều cao nhỏ hơn 60 m thì đập vật liệu địa phương chiếm tới hơn 80%, còn đối với đập có chiều cao lớn hơn 60 m thì đập bê tông nói chung và đập bê tông trọng lực nói riêng lại chiếm một tỷ lệ đáng kể (Nguyễn Hồng Nam, 2016); ở Hoa Kỳ, tính đến năm 2017, có hơn 70.000 đập đang vận hành thì số lượng đập đất chiếm khoảng 85% (Hood et al., 2019); theo thống kê của Hội đập lớn thế giới (ICOLD), tính đến 12/2024 thì số lượng đập chiếm khoảng 67% (ICOLD, 2024); thống kê đến năm 2018, ở Trung Quốc với 98.000 hồ chứa thì hơn 90% được xây dựng bằng đập đất (Fu et al., 2018).

Đập đất có nhiều ưu điểm, tuy nhiên, chúng thường phát sinh vấn đề liên quan đến thấm có thể gây ra vỡ đập. Theo thống kê trong nghiên cứu của Foster và cộng sự, sự cố vỡ đập đất do nguyên nhân thấm chiếm 46,1%, trong đó 16,8% sự cố có thể do điều kiện địa chất kém. Ngoài ra, sự cố vỡ đập đất do trượt mái đập chiếm một tỷ lệ đáng kể trong thiệt hại (Foster et al., 2000). Dòng thấm gây xói ngầm trong đất đắp đập, có thể dẫn đến vỡ đập (Özer & Bromwell, 2012). Các đặc trưng của dòng thấm phụ thuộc vào nhiều yếu tố như cột nước thấm, tính chất của đất đắp và nền, cấu tạo của đập (Al-Janabi et al., 2024). Để tránh các vấn đề liên quan đến thấm qua đập đất, cần phải đảm bảo kiểm soát thấm đầy đủ trong tất cả các giai đoạn từ khảo sát thiết kế, xây dựng đến quá trình khai thác vận hành.

Trong quản lý vận hành hồ chứa, việc hạ thấp mực nước hồ đột ngột xảy ra khi: vận hành khẩn cấp, sửa chữa, sự cố công trình, thiên tai bất tường,… quá trình này có thể dẫn tới hiện tượng biến dạng thấm, trượt mái, nứt thân đập và trong một số trường hợp cực đoan có thể dẫn đến vỡ đập. Cơ chế chủ yếu liên quan đến chênh lệch áp lực thấm giữa trong thân đập và mực nước hồ bên ngoài, khiến áp lực nước lỗ rỗng không kịp tiêu thoát, làm giảm sức chống cắt của đất đắp. Do đó, trường hợp hạ thấp nhanh mực nước được xem là một trong những kịch bản vận hành nguy hiểm nhất đối với đập đất. Cho đến nay, đã ghi nhận nhiều sự cố đập đất mất ổn định (hư hỏng) do mực nước hồ hạ thấp nhanh, ví dụ như: đập đất Pilarcitos (San Francisco, Hoa Kỳ, xây dựng năm 1864 hoàn thành năm 1866), cao 28,5 m có lõi giữa chống thấm bằng đất sét bị vỡ do mực nước thượng lưu hạ thấp cao độ 210,9 m xuống 200,3 m (tốc độ hạ thấp 0,52 m/ngày) trong giai đoạn từ ngày 7/10 đến 19/11 năm 1969 (Duncan, J. M. et al., 1990); đập đất Walter Boulding (Alabama, do Công ty Điện lực Alabama xây dựng năm 1967), vào ngày 10/2/1975, sự cố trượt mái dốc thượng lưu đã xảy ra trong quá trình hạ mực nước hồ chứa xuống đột ngột 9,75 m trong 5,5 giờ (Duncan, J. M et al, 1990); đập đất San Luis (California, Hoa Kỳ), vào 9/1981 trượt mái thượng lưu đập sau đợt hạ mực nước khoảng 55 m trong 120 ngày (Stark & Jafari, 2018)…

Về lý thuyết, việc phân tích ứng xử của dòng thấm và ổn định của mái đập (chủ yếu là mái đập thượng lưu) dưới tác động của mực nước hồ hạ thấp nhanh đòi hỏi phải phân tích tất cả các giai đoạn biến đổi tạm thời mà đập trải qua. Bài báo này tập trung vào việc đánh giá quá trình thay đổi các đặc trưng của dòng thấm dẫn đến thay đổi trạng thái ổn định của mái thượng lưu đập đất khi mực nước hồ hạ thấp nhanh áp dụng cho đập đất Ta Hoét ở Lâm Đồng. Để giải quyết vấn đề tổng thể này, một mô hình số theo phương pháp phần tử hữu hạn thông qua môđun Seep/w để phân tích dòng thấm không ổn định kết hợp với phương pháp cân bằng giới hạn thông qua môđun Slope/w để xác định sự thay đổi trạng thái ổn định của mái đập thượng lưu đã được sử dụng.

2. Cơ sở lý thuyết và lựa chọn phương pháp

Trong môi trường thấm, quá trình thấm tuân theo định luật Darcy. Phương trình vi phân thấm tổng quát như sau:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(k_x \frac{\partial H}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(k_y \frac{\partial H}{\partial y}\right) + Q = \frac{\partial \Theta}{\partial t} \quad (1)$$

Với H là cột nước thấm tổng [m]; k_x và k_y tương ứng là hệ số thấm theo phương ngang và phương đứng [m/s]; Q là lưu lượng biên tác dụng [m^3/giây]; Θ là hàm ngậm nước thể tích [%], t là thời gian [giây]. Trong trường hợp dòng thấm ổn định thì $\frac{\partial \Theta}{\partial t} = 0$, còn ở trạng thái thấm không ổn định (mực nước thượng lưu đập thay đổi là 1 trường hợp) thì $\frac{\partial \Theta}{\partial t} \neq 0$, sự thay đổi đối với hàm lượng ngậm nước phụ thuộc vào sự thay đổi trạng thái ứng suất và tính chất của đất.

Hệ số ổn định để phân tích ổn định mái dốc thường được định nghĩa là tỷ số giữa sức kháng cắt với ứng suất cắt khi mặt trượt bắt đầu phá hoại. Có nhiều cách để thiết lập hệ số ổn định. Cách thiết lập phổ biến nhất là giả định hệ số ổn định không thay đổi dọc theo mặt trượt, theo phương pháp cân bằng giới hạn nó được định nghĩa theo phương pháp cân bằng mô men và/hoặc cân bằng lực. Phương pháp cân bằng giới hạn tổng quát (Generalised Limit Equilibrium Method: GLE) là dựa trên hai phương trình xác định hệ số ổn định (một phương trình là cân bằng mô men (F_m), phương trình còn lại

là phương trình cân bằng lực theo phương ngang (F_f)) (Seequent Limited, 2025):

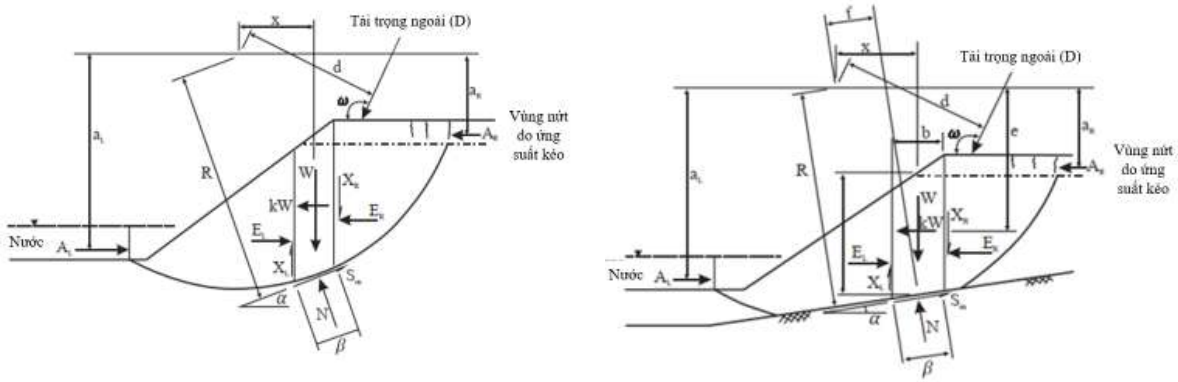
Phương trình xác định hệ số ổn định theo cân bằng mô men:

$$F_m = \frac{\Sigma(c'\beta R+(N-u\beta)Rtan\emptyset')}{\Sigma Wx-\Sigma Nf\pm\Sigma Dd} \quad (2)$$

Phương trình xác định hệ số ổn định theo cân bằng lực:

$$F_f = \frac{\Sigma(c'\beta cos\alpha+(N-u\beta)tan\emptyset' cos\alpha)}{\Sigma Nsin\alpha-\Sigma Dcos\omega} \quad (3)$$

Với c' là lực dính hữu hiệu [kPa]; ϕ': góc nội ma sát hữu hiệu [độ]; u là áp lực nước lỗ rỗng [kPa]; N là lực pháp tuyến [kN], W là trọng lượng lát cắt (cột đất) [kN], D là tải trọng tập trung [kN]; β, R, x, f, d, ω, α: là các thông số hình học thay đổi theo mỗi lát cắt theo các cung trượt [m, độ] (minh họa như ở Hình 1).



Hình 1. Sơ đồ các lực tác động một lát cắt (cột đất) đối với mặt trượt hình tròn (trái) và không tròn (phải) (Seequent Limited, 2025)

Trong nghiên cứu tính toán an toàn đập đất, đặc biệt đối với bài toán ổn định mái thượng lưu khi hạ thấp nhanh mực nước, việc lựa chọn công cụ tính toán có ý nghĩa quan trọng nhằm đảm bảo độ tin cậy của kết quả. Các phần mềm phân tích thấm như PLAXIS, FLAC, SEEP2D hay SEEP/W đều được sử dụng phổ biến, trong đó nghiên cứu này SEEP/W được lựa chọn nhờ ưu điểm nổi bật là mô phỏng được dòng thấm bão hòa - không bão hòa và cho phép gán điều kiện biên biến đổi theo thời gian, rất phù hợp với bài toán thấm không ổn định. Về phân tích ổn định mái dốc, các phần mềm như UTEXAS4, SLIDE2 hay SLOPE/W thường được áp dụng, trong đó UTEXAS4 và SLIDE2 có nhược điểm là khả năng liên kết trực tiếp với kết quả thấm còn hạn chế. SLOPE/W lại có ưu thế vượt trội nhờ tích hợp trực tiếp với SEEP/W, cho phép sử dụng phân bố áp lực nước lỗ rỗng từ kết quả thấm thay vì giả định đường bão hòa. Do đó, trong phạm vi bài báo "Phân tích thấm và ổn định đập đất trong trường hợp mực nước thượng lưu hạ thấp nhanh", việc lựa chọn kết hợp SEEP/W và SLOPE/W của bộ GeoStudio là phương án phù hợp, vừa đảm bảo độ chính xác nhờ sử dụng kết quả mô phỏng thực tế, vừa đảm bảo tính khả thi trong triển khai và đáp ứng tốt yêu cầu đánh giá biến thiên hệ số an toàn mái dốc trong suốt quá trình mực nước thượng lưu đập thay đổi.

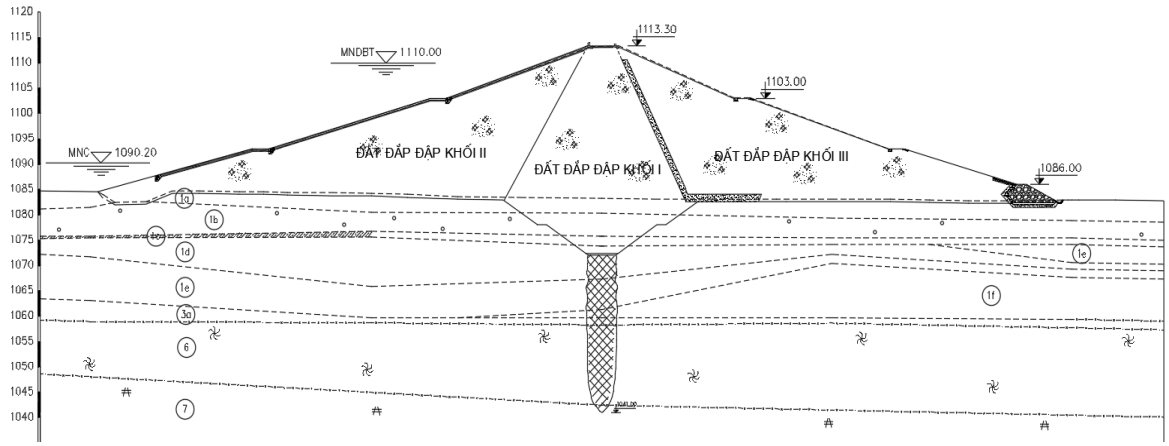
3. Áp dụng tính toán cho đập đất Ta Hoét

3.1 Giới thiệu về đập đất Ta Hoét

Dự án hồ chứa nước Ta Hoét (thuộc xã Hiệp Thạnh, tỉnh Lâm Đồng) là công trình thủy lợi trọng điểm của tỉnh Lâm Đồng, hồ chứa có dung tích thiết kế khoảng 13,86 triệu m³, có nhiệm vụ cung cấp nước tưới cho 2.080 ha lúa, rau màu, cây công nghiệp, cấp bổ sung cho 500 ha thuộc khu tưới hồ Tuyền Lâm và đáp ứng nhu cầu nước sinh hoạt cho khoảng 65.000 người dân địa phương, kết hợp tạo cảnh quan du lịch và góp phần cải thiện tiểu khí hậu của vùng dự án, nuôi trồng thuỷ sản trong lòng hồ. Công trình đầu mối gồm đập đất, cống lấy nước và tràn xả lũ. Đập có chiều cao lớn nhất 32 m, chiều dài thân đập không kể tràn xả lũ là 490 m, là loại đất ba khối, chống thấm

cho nền bằng chân khay kết hợp với khoan phụt tạo màng chống thấm (Hình 2) (Trình, 2021), vật liệu đắp chủ yếu là đất tại chỗ đã được xử lý và đầm nén bảo đảm yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 8216:2018 (Tổng Công ty Tư vấn Xây dựng Thủy lợi Việt Nam, 2018). Theo quy mô công suất/ mức độ quan trọng và quy mô kết cấu, đập Ta Hoét thuộc công trình cấp II theo QCVN 04-05:2022 (Cục Quản lý Xây dựng Công trình, 2022).

Tính chất cơ lý của các lớp địa chất nền đập (các lớp đất: 1a, 1b, 1c, 1d, 1e, 3a; và 2 lớp đá: lớp 6 là đá Tuf Riolit phong hóa vừa mức độ nứt nẻ rất mạnh đến mạnh và lớp 7 là đá Tuf Riolit phong hoá nhẹ mức độ nứt nẻ mạnh đến trung bình) và các đất đắp đập (khối I, khối II và khối III) như ở Bảng 1.



Hình 2. Mặt cắt ngang tính toán áp dụng cho đập đất Ta Hoét (Trình, 2021)

Bảng 1. *Tính chất cơ lý của các khối đất đắp đập và các lớp địa đất nền* (Trình, 2021)

Lớp	Dung trọng khô γ_c (kN/m^3)	Góc ma sát trong φ (°)	Lực dính C (kPa)	Hệ số thấm k (m/s)	Độ lỗ rỗng n (%)	Độ bão hòa G (%)
Đất đắp đập						
Khối I	20,0	16°14’	24,0	1,0x10^{-8}	40,0	75,0
Khối II	20,2	20°00’	26,0	5,0x10^{-7}	31,1	58,0
Khối III	21,0	13°13’	24,0	5,0x10^{-6}	40,0	63,0
Đất nền						
1a	19,5	14°21’	21,5	6,87x10^{-7}	42,7	99,0
1b	19,1	15°40’	22,9	2,71x10^{-5}	43,0	99,2
1c	19,3	17°41’	25,2	2,10x10^{-7}	43,4	100,0
1d	17,8	15°27’	16,5	3,37x10^{-6}	42,8	61,0
1e	17,5	13°37’	20,2	3,18x10^{-5}	49,0	88,0
1f	17,8	14°25’	13,3	2,80x10^{-6}	47,9	88,0
3a	20,6	21°00’	22,0	4,37x10^{-7}	35,0	96,0

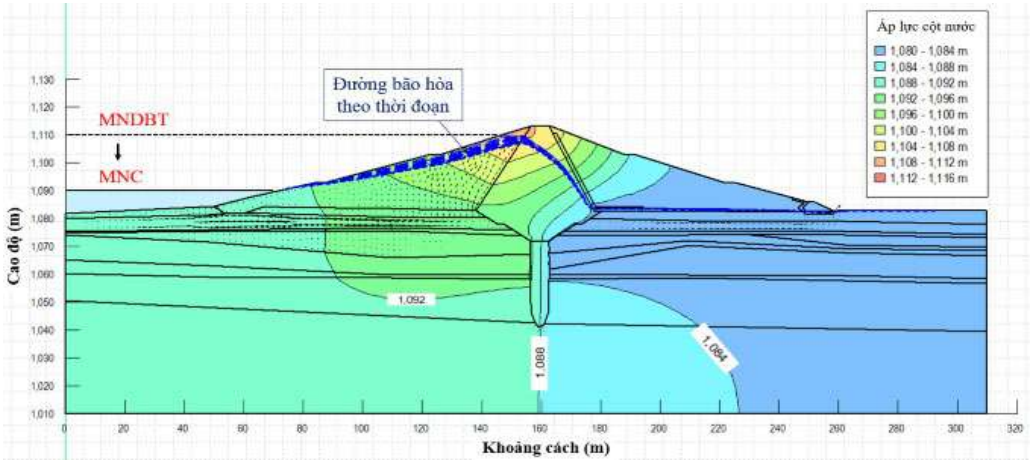
3.2 Kết quả và thảo luận

Để phân tích thấm và ổn định đập đất Ta Hoét trong trường hợp mực nước thượng lưu hạ thấp nhanh, chúng tôi kết hợp hai môđun Seep/W và Slope/W của bộ phần mềm Geostudio. Trước tiên, mô hình cấu tạo chi tiết mặt cắt ngang đập (Hình 2) và đặc trưng cơ lý của vật liệu đắp và nền đập (c, φ, γ), hệ số thấm k (Bảng 1) và đường cong đặc trưng đất, nước (SWCC) cần được mô phỏng xác định. Tiếp đó, trong Seep/W, các điều kiện biên được thiết lập, đặc biệt là mực nước thượng lưu thay đổi theo thời gian (drawdown), mực nước hạ lưu và biên không thấm. Quá trình phân tích thấm cho phép xác định phân bố áp lực nước lỗ rỗng, đường bão hòa và gradient thấm tại từng giai đoạn hạ thấp mực nước. Các kết quả thấm này được chuyển trực tiếp sang môđun Slope/W để làm dữ liệu đầu vào cho bài toán ổn định. Trong Slope/W, ổn định mái dốc được phân tích bằng phương pháp cân bằng giới hạn theo phương pháp Morgenstern-Price. Hệ số an toàn FoS của mái thượng lưu được tính toán tại các thời điểm khác nhau trong và sau quá trình mực nước thượng lưu đập

hạ thấp. Kết quả cuối cùng thể hiện sự biến thiên của FoS theo thời gian, qua đó xác định được thời điểm nguy hiểm nhất.

- Kết quản phân tích đặc trưng dòng thấm

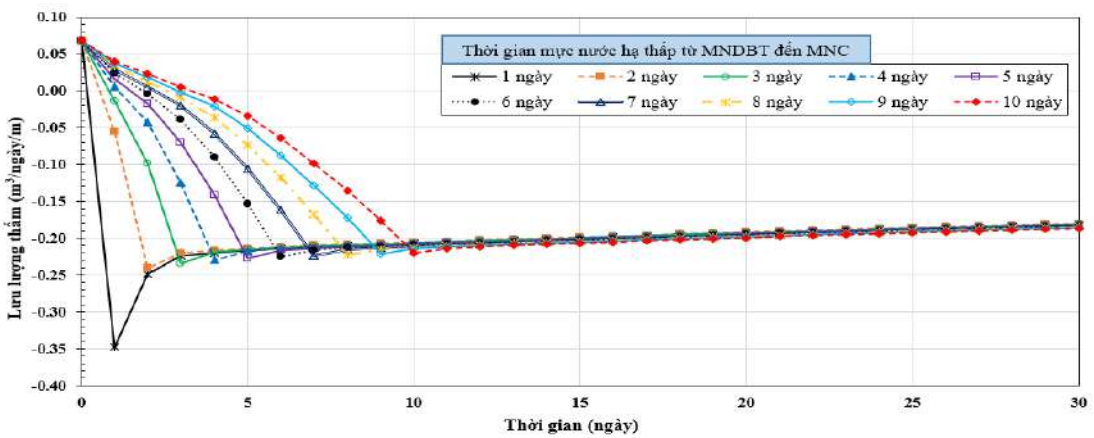
Hình 3 trình bày kết quả phân tích áp lực thấm trong trạng thái mực nước thượng lưu hạ thấp nhanh từ MNDBT (1.110,00 m) đến MNC (1090,20 m). Ở trạng thái dòng thấm ổn định ban đầu (mực nước hồ chứa chưa hạ thấp), tổng lưu lượng nước thấm qua thân đập và nền là 0,069 m³/ngày/m, trong đó lưu lượng thấm qua phần mái thượng lưu của thân đập là 0,044 m³/ngày/m (chiếm 63,38%) và 0,025 m³/ngày/m (chiếm 36,62%) là lưu lượng thấm qua nền đập.



Hình 3. Đường đồng mức tổng áp lực cột nước và vector dòng thấm sau 30 ngày cho trường hợp mực nước thượng lưu hạ thấp nhanh từ MNDBT đến MNC trong 01 ngày

Tổng áp lực cột nước (water total head) giảm dần theo hướng dòng thấm về phía hạ lưu do sự tiêu hao cột nước thấm qua môi trường thấm (đất) làm mất dần năng lượng của dòng thấm. Khi mực nước thượng lưu đập (mực nước hồ chứa) hạ thấp thì nước chiếm chỗ trong các lỗ rỗng của đất sẽ thấm về hai hướng: (1). Dòng thấm ngược từ trong phần đất đắp mái đập thượng lưu thấm ra mặt thoáng thượng lưu của đập (thấm ngược vào lòng hồ); và (2). Hướng còn lại tiếp tục thấm về phía hạ lưu (thấm qua thân đập và nền).

Khi mực nước thượng lưu hồ bắt đầu giảm từ MNDBT xuống đến MNC, dòng thấm ngược xảy ra ở cả mặt đập thượng lưu và mặt nền ra hồ chứa. Kết quả lưu lượng thấm ngược đơn vị qua thân và nền đập theo 10 kịch bản được tổng hợp như ở Bảng 2 và Hình 4. Kết quả cho thấy lưu lượng thấm bị ảnh hưởng bởi tốc độ hạ mực nước trong hồ, cụ thể tốc độ giảm mực nước càng chậm thì tổng lưu lượng thấm càng thấp; và tỷ lệ phần nước thấm ngược qua phần mái đập thượng lưu tỷ lệ thuận với tốc độ giảm mực nước và ngược lại đối với phần thấm nước ngược qua mặt nền thượng lưu đập.

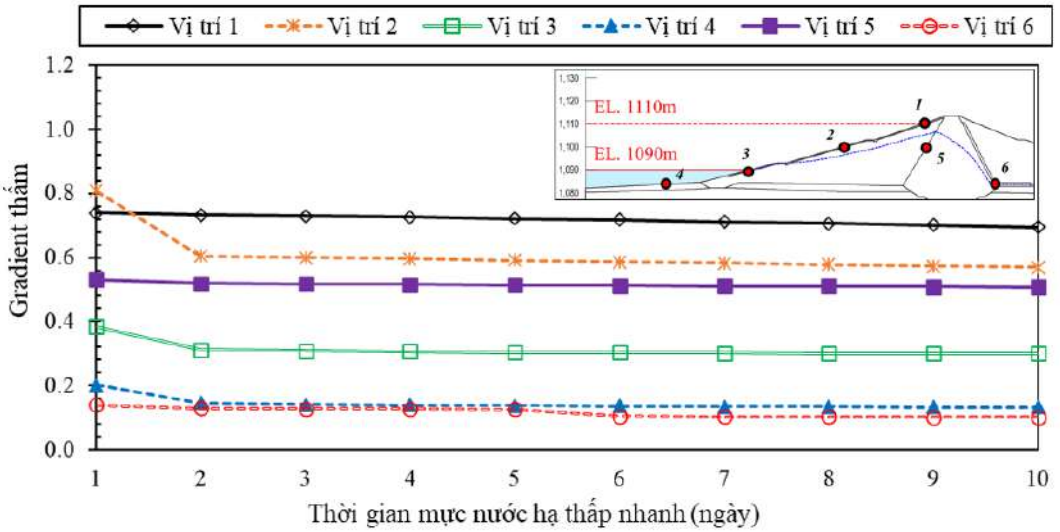


Hình 4. Lưu lượng thấm ngược ra mái đập thượng lưu và nền theo thời gian ở các mức độ hạ thấp mực nước khác nhau

Bảng 2. *Tổng hợp lưu lượng thấm ngược lớn nhất ra mái đập thượng lưu đơn vị 30 ngày dưới các điều kiện hạ mực nước khác nhau*

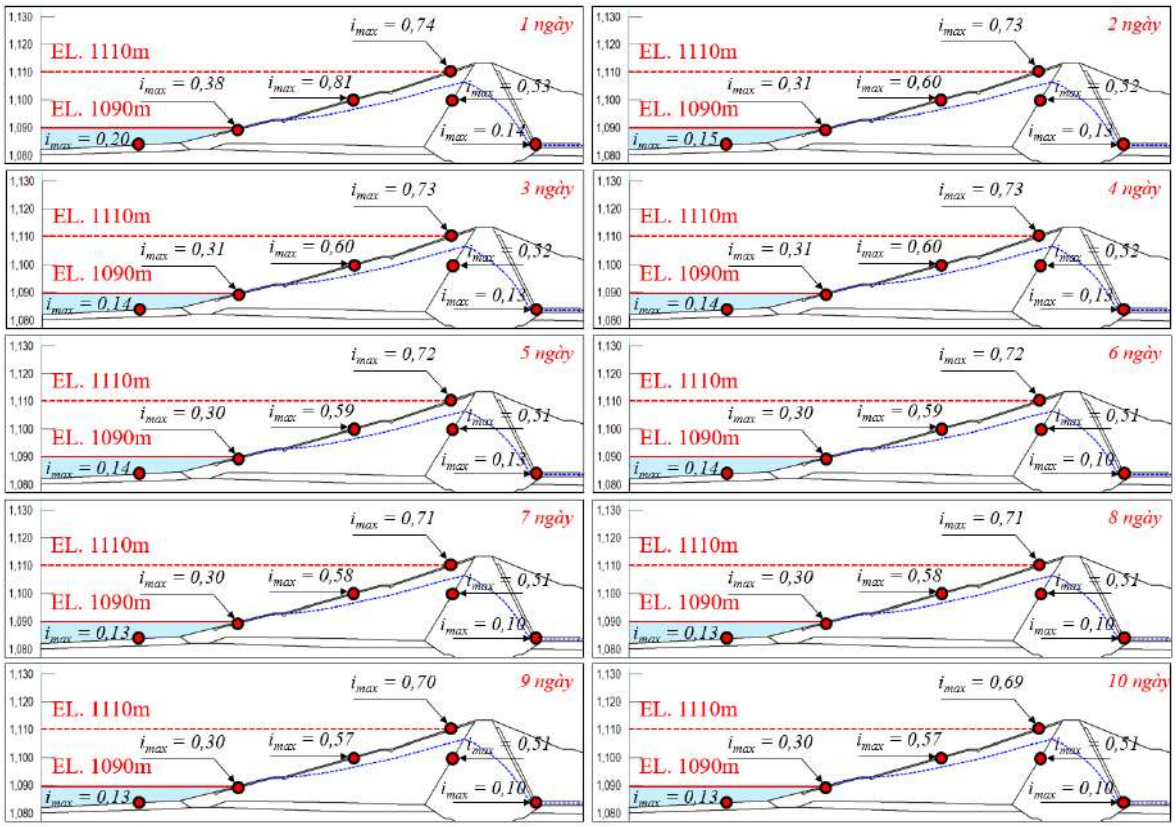
Kịch bản nước rút	Tổng lưu lượng thấm	Lưu lượng thấm qua thân đập		Lưu lượng thấm qua nền	
	(m^3/ngày/m)	(m^3/ngày/m)	Tỷ lệ (%)	(m^3/ngày/m)	Tỷ lệ (%)
1 ngày	0,348	0,150	43,00	0,198	57,00
2 ngày	0,241	0,097	40,14	0,144	59,86
3 ngày	0,234	0,094	40,36	0,140	59,64
4 ngày	0,230	0,093	40,48	0,137	59,52
5 ngày	0,227	0,092	40,54	0,135	59,46
6 ngày	0,225	0,091	40,59	0,134	59,41
7 ngày	0,224	0,091	40,62	0,133	59,38
8 ngày	0,222	0,090	40,64	0,132	59,36
9 ngày	0,221	0,090	40,65	0,131	59,35
10 ngày	0,220	0,090	40,67	0,131	59,33

Việc hạ mực nước hồ với tốc độ nhanh có thể gây ra sự dịch chuyển của các hạt đất do sự gia tăng của gradient thấm, dẫn đến gia tăng lực thấm và có thể gây xói ngầm, rửa trôi đất trong thân và nền đập, từ đó gây mất ổn định thấm. Hình 5 thể hiện các giá trị gradient thấm lớn nhất tại 04 vị trí dọc mặt mái thượng lưu đập và nền, và 2 vị trí trong thân đập do các điều kiện hạ mực nước gây ra. Kết quả cho thấy tốc độ hạ thấp mực nước hồ càng nhanh thì giá trị gradient thấm càng cao (hay gradient thấm lớn nhất giảm dần theo các khi tốc độ hạ thấp mực nước càng chậm). Bên cạnh đó, trong phạm vi thay đổi mực nước thượng lưu (MNDBT đến MNC) như vị trí 1, 2, 5 có giá trị gradient thấm lớn hơn so với các điểm ở nền và đáy đập. Đối với đập đất Ta Hoét là công trình cấp II, có đất đắp đập là á sét, trị số gradient cột nước cho phép $[J^{ra}_{đ}] = 0,85$ (Tổng Công ty Tư vấn Xây dựng Thủy lợi Việt Nam, 2018), như vậy với các giá trị gradient thấm mô phỏng như Hình 5 thì mái đập thượng lưu đập đất Ta Hoét vẫn đảm bảo yêu cầu về ổn định thấm.



Hình 5. Biểu đồ diễn biến gradient cực đại thấm tại 04 vị trí trên mặt thượng lưu (vị trí 1, 2, 3 và 4) và 02 vị trí trong thân đập (vị trí 5, 6) theo các 10 kịch bản hạ thấp mực nước

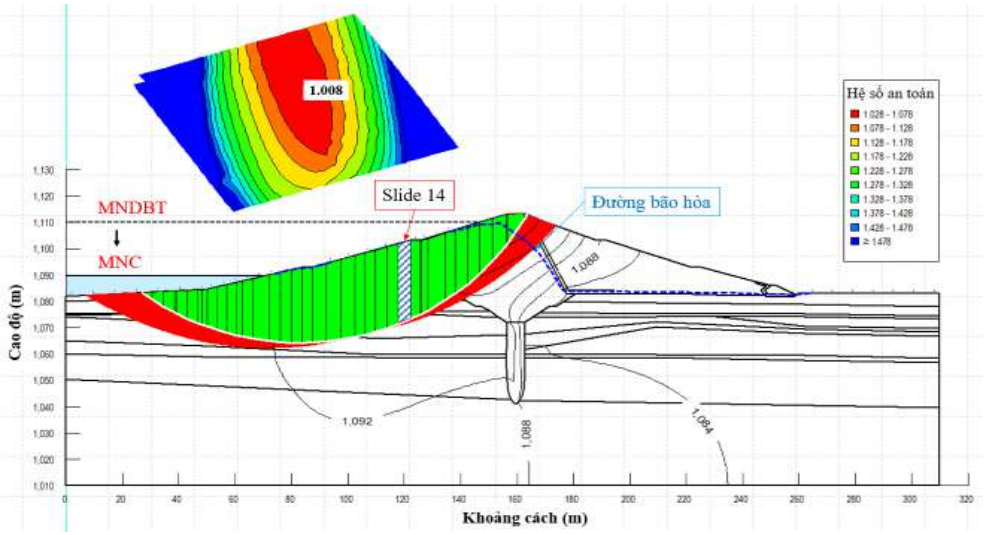
Bên cạnh đó, các điểm nằm trên mái thượng lưu đập có độ lớn gradient thấm cao hơn so với bề mặt nền. Nguyên nhân là do áp lực thủy tĩnh của nước trong hồ (phần nước dưới mực nước chết) làm giảm năng lượng của dòng thấm lên qua mặt nền, điều này làm giảm độ lớn của gradient thấm trên bề mặt nền. Bên cạnh đó, các điểm nằm trên điểm tiếp giáp mái đập và đường bão hòa sẽ có nguy cơ xói ngầm lớn hơn do xuất hiện gradient thấm cục bộ lớn.



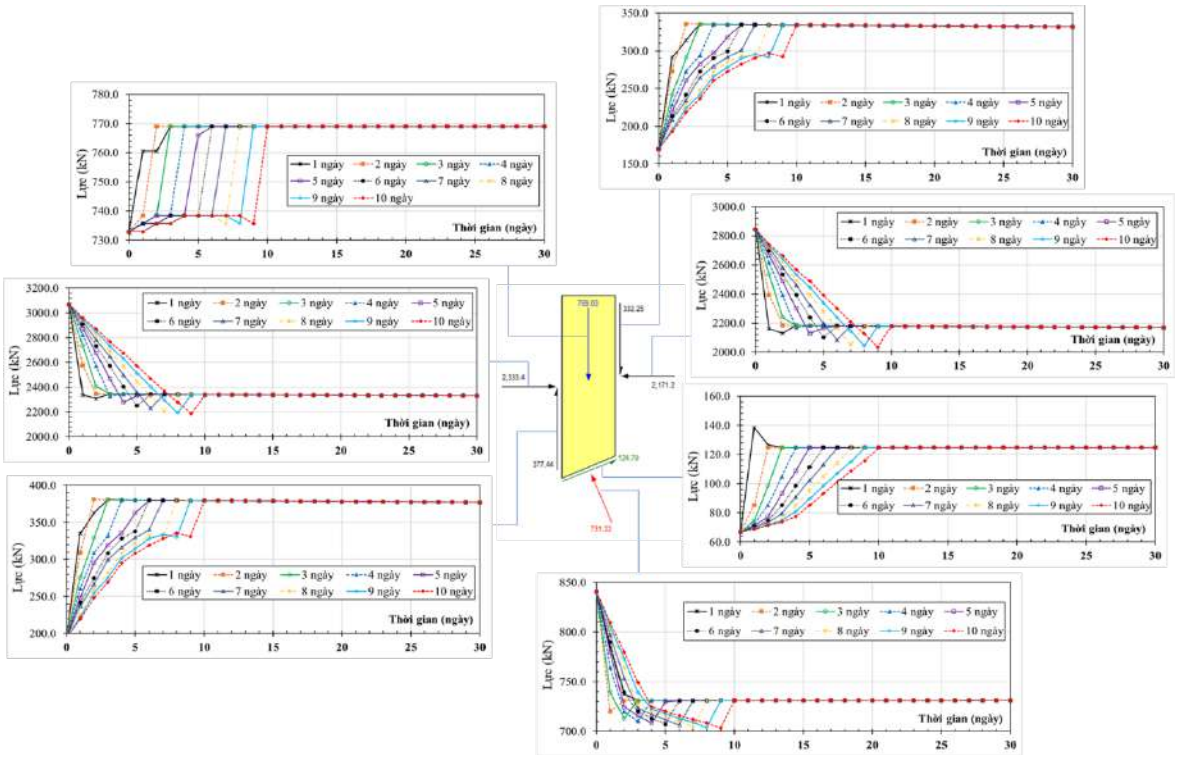
Hình 6. Biểu diễn giá trị gradient thấm cực đại tại 04 vị trí trên mặt đập thượng lưu (vị trí 1, 2, 3 và 4) và 02 vị trí trong thân đập (vị trí 5, 6) theo các 10 kịch bản hạ thấp mực nước

- Kết quả tính toán ổn định

Khi mực nước hồ hạ thấp, đường bão hòa thấm sẽ hạ thấp theo 02 hướng về phía mái thượng lưu và mái hạ lưu, trong đó hướng hạ thấp về phía mái thượng lưu nhanh hơn. Điều này làm mất cân bằng áp lực nước lỗ rỗng, dẫn đến phát sinh lực thấm phát triển hướng về phía mặt thượng lưu của đập. Sự thay đổi dòng thấm làm giảm ứng suất hiệu dụng, từ đó làm giảm cường độ chống cắt của đất, làm thay đổi đặc tính cường độ tổng thể bằng cách giảm hoặc loại bỏ độ kết dính của đất và đồng thời phát sinh lực thấm bất lợi cho ổn định của mái thượng lưu. Hình 7 thể hiện mặt trượt, tâm trượt và hệ số ổn định nguy hiểm nhất trong điều kiện hạ thấp nhanh mực nước (thời đoạn 1 ngày) và Hình 8 minh họa biểu đồ véc tơ lực tác động lên lát cắt 14 (slide 14) theo phương pháp Morgenstern-Price, kết quả cho thấy trọng lượng bản thân của lát cắt 14 giảm dần theo thời gian khi mực nước hạ thấp, sau đó phục hồi trở lại vị trí ban đầu. Trong khi đó, các lực pháp tuyến (tại đáy, bên trái và bên phải phần tử) gần như đều giảm ngay sau khi mực nước hồ giảm và duy trì ở mức thấp hơn so với ban đầu. Ngược lại, các lực cắt (tại đáy, bên trái và bên phải phần tử) lại tăng lên và giữ ở trạng thái cao hơn giá trị ban đầu. Điều này cho thấy các phần tử không thể duy trì ở trạn thái cân bằng từ đó làm giảm hệ số ổn định mái, gây mất ổn định mái đập thượng lưu theo hình thức cung trượt tròn.

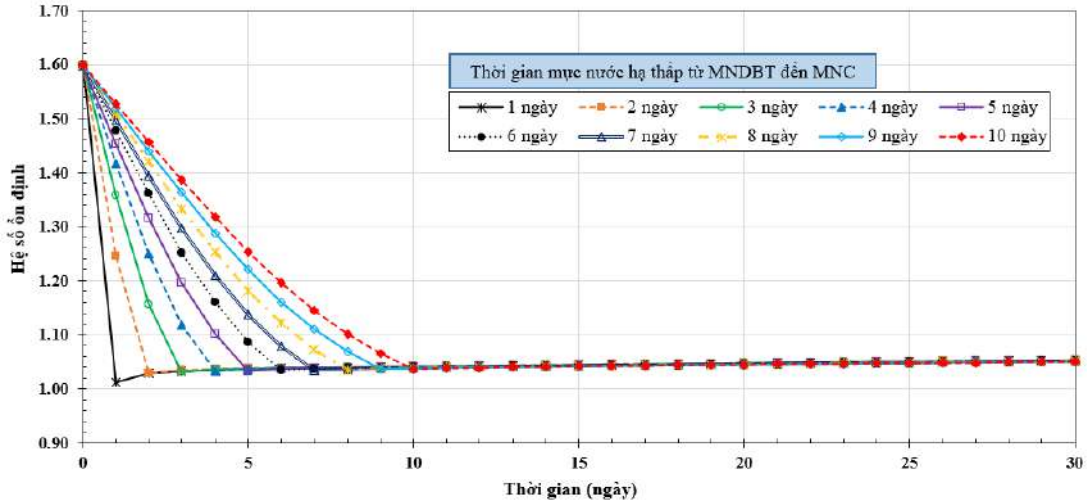


Hình 7. Mặt trượt nguy hiểm đối với trường hợp 1 điều kiện hạ thấp nhanh mực nước



Hình 8. Biểu đồ phân bố lực tại Slide 14 theo các kịch bản tính toán

Mối quan hệ giữa hệ số an toàn và tốc độ hạ mực nước hồ chứa được biểu diễn như ở Hình 9 với thời gian 30 ngày kể từ khi bắt đầu sự kiện hạ mực nước. Kết quả cho thấy ngay sau khi hạ mực nước hồ chứa thì hệ số an toàn đều giảm theo các kịch bản, cho đến khi đạt giá trị thấp nhất (thời điểm quá trình hạ mực hoàn tất). Sau thời điểm này, áp lực nước lỗ rỗng dư bắt đầu tiêu tán theo thời gian và hệ số an toàn bắt đầu tăng trở lại cho đến khi đạt một giá trị mới. Tuy nhiên, do quá trình thấm ngược từ trong thân đập vẫn tiếp tục diễn ra, nên mức độ hồi phục hệ số ổn định không lớn. Điều này cho thấy khả năng phục hồi trạng thái ổn định mái thượng lưu đập sau khi mực nước hồ rút nhanh phụ thuộc vào quá trình thoát nước trong thân đập và đặc trưng cơ lý vật liệu đắp đập. Kết quả ở Hình 9 cho thấy, đối với đập đất Ta Hoét với các trường hợp giả định tốc độ hạ thấp nhanh mực nước, hệ số ổn định tính toán giảm thấp hơn đều nhỏ hơn hệ số ổn định cho phép ($[k]_{cp}$ = 1,17: đối với công trình cấp II và tổ hợp đặc biệt (Tổng Công ty Tư vấn Xây dựng Thủy lợi Việt Nam, 2018)).



Hình 9. Biểu đồ so sánh sự thay đổi hệ số ổn định tương ứng với các trường hợp hạ thấp mực nước thượng lưu hồ chứa

4. Kết luận

Từ các kết quả đạt được, nghiên cứu này có những kết luận sau đây:

- Độ ổn định của mái thượng lưu đập đất khi mực nước hồ rút nhanh bị ảnh hưởng đáng kể bởi tốc độ thoát nước lỗ rỗng. Mặc dù thông lệ thiết kế phổ biến là giả định thoát nước tự do (thời gian rút nước chậm) hoặc không thoát nước (rút nước nhanh) cung cấp giải pháp cho hai điều kiện giới hạn cực đoan, nhưng nó không phản ánh đúng ứng xử thực tế đặc tính làm việc của đập đất;

- Bằng phương pháp phần tử hữu hạn thông qua môđun Seep/w giúp cho việc phân tích diễn biến các đặc trưng dòng thấm (lưu lượng thấm, gradient thấm, cột nước thấm, áp suất nước lỗ rỗng, sự tiêu tán áp suất nước lỗ rỗng, vị trí đường bão hòa) trong đập đất ở bất kỳ mọi thời điểm. Do đó, độ ổn định của mái dốc ở bất kỳ thời điểm nào cũng được liên kết để đánh giá phù hợp với thực tế vận hành của công trình;

- Đối với đập đất Ta Hoét với các trường hợp giả định tốc độ hạ thấm mực nước nhanh hệ số ổn định tính toán giảm thấp hơn đều nhỏ hơn hệ số ổn định cho phép ([k] = 1,17: đối với công trình cấp II và tổ hợp đặc biệt (Tổng Công ty Tư vấn Xây dựng Thủy lợi Việt Nam, 2018)). Do vậy, cần phải đánh giá cụ thể tốc độ hạ thấp mực nước trong quá trình vận hành của hồ chứa Ta Hoét, nếu tốc độ hạ thấm mực nước hồ không nằm trong 10 trường hợp phân tích kể trên thì cần phải tính toán bổ sung nhằm đề xuất kiến nghị vận hành đảm bảo an toàn cho đập đất Ta Hoét.

Tài liệu tham khảo

Al-Janabi, A. M. S., Dibs, H., Sammen, S. S., Yusuf, B., Ikram, R. M. A., Alzuhairy, S. H., & Kisi, O. (2024). Comparison analysis of seepage through homogenous embankment dams using physical, mathematical and numerical models. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 1-10.

Cục Quản lý Xây dựng Công trình - Bộ Nông nghiệp và phát triển Nông thôn. (2022). *QCVN 04-05:2022/BNNPTNT: Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về Công trình thủy lợi, Phòng chống thiên tai - Phần I. Công trình thủy lợi - Các quy định chủ yếu về thiết kế, thay thế cho QCVN 04 - 05:2012/BNNPTNT: Công trình thủy lợi - Các quy định chủ yếu về thiế*. Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn.

Duncan, J. M., Mitchell, James K., Seed, H. B. (1990). Slope Stability during Rapid Drawdown. *Memorial Symposium Proceedings, BiTech Publishers*, *2*, 253-272.

Foster, M., Fell, R., & Spannagle, M. (2000). The statistics of embankment dam failures and accidents. *Canadian Geotechnical Journal*, *37*(5), 1000-1024.

Fu, X., Gu, C.-S., Su, H.-Z., & Qin, X.-N. (2018). Risk analysis of earth-rock dam failures based on fuzzy event tree method. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *15*(5), 886.

Hood, K., Perez, R. A., Cieplinski, H. E., Hromadka, T. V, Moglen, G. E., & McInvale, H. D. (2019). Development of an earthen dam break database. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, *55*(1), 89-101.

Nguyễn Hồng Nam. (2016). *Đập vật liệu địa phương và ảnh hưởng của động đất (KC.08.23/11-15: Nghiên cứu khả năng hóa lỏng của đê đập bằng vật liệu địa phương chịu tải trọng động đất và giải pháp ổn định công trình)*.

Özer, A. T., & Bromwell, L. G. (2012). Stability assessment of an earth dam on silt/clay tailings foundation: A case study. *Engineering Geology*, *151*, 89-99.

Seequent Limited, T. B. S. C. (2025). *Stability Modeling with GeoStudio*.

Stark, T. D., & Jafari, N. H. (2018). San Luis dam case history: Seepage and slope stability analyses and lessons learned. In *IFCEE 2018* (pp. 317-329).

The International Commission On Large Dams (ICOLD). (2024). *General Synthesis: The present edition of the Register, updated December 2024*. https://www.icold-cigb.org/article/GB/world _register/ general_synthesis/general-synthesis

Tổng Công ty Tư vấn Xây dựng Thủy lợi Việt Nam. (2018). *TCVN 8216:2018 về Công trình thủy lợi - Thiết kế đập đất đầm nén*. Bộ Khoa học và Công nghệ.

Trình, L. danh C. ty C. phần T. vấn X. dựng T. lợi 3; C. ty T. tư vấn xây dựng 2H V. N. và V. phòng tư vấn thẩm định T. kế và giám sát chất lượng công. (2021). *Thuyết minh lập thiết kế bản vẽ thi công - dự toán Dự án: Xây dựng hồ chứa nước Ta Hoét, huyện Đức Trọng*.

Seepage and Stability Analysis of Earth Dams under Fluctuating Upstream Water Levels

Nguyen Van Huong[1,*], Nguyen Trung Quan[1], Nguyen Thi Loc[2], Nguyen Van Tuoi[2], Nguyen Quang Huy[3]

[1]*The University of Science and Technology - University of Da Nang*
[2]*Central College of Transport No. 5*
[3]*Yachiyo Engineering Co., Ltd, Japan*
**Corresponding author: Email: nvhuong@dut.udn.vn*

Abstract

Earth dams are the principal structures in reservoir systems, playing a vital role in water resources management. However, during construction and operation, rapid drawdown of the reservoir water level may occur, posing potential risks to dam safety. This study focuses on analyzing the characteristics of transient seepage flow and slope stability of earth dams under rapid drawdown scenarios. The finite element method (FEM) is employed to simulate the time-dependent seepage process, while the seepage results are coupled with limit equilibrium methods to evaluate slope stability, explicitly accounting for changes in pore-water pressure. The results indicate that rapid drawdown can induce an imbalance of pore-water pressure within the dam body or water-retaining structure. In such cases, the pore pressure inside the upstream slope does not dissipate as quickly as the external water level, leading to excess (or temporary) pore-water pressure. This excess pressure temporarily reduces the shear strength of the soil, thereby increasing the risk of seepage-induced deformation and instability of the upstream slope.

***Keywords**:* Earth dam; rapid drawdown; seepage analysis; ability of earth dam's slopes; Seepage-deformation.

ĐÁNH GIÁ ỔN ĐỊNH ĐẬP ĐẤT KHI XẢY RA ĐỘNG ĐẤT: ÁP DỤNG CHO ĐẬP ĐẤT THƯỢNG KON TUM

Nguyễn Trung Quân[1,*], Nguyễn Quang Huy[2], Nguyễn Thị Lộc[3], Lê Ngọc Viên[4], Nguyễn Văn Hướng[1]

[1]Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng

[2]Yachiyo Engineering Co., Ltd, Japan

[3]Trường Cao đẳng Giao thông Vận tải Trung ương V

[4]Trường Cao đẳng Công nghệ, Kinh tế & Thủy lợi miền Trung

**Tác giả liên hệ: Email: ntquan@dut.udn.vn*

Tóm tắt

Đập đất là hạng mục quan trọng trong hệ thống công trình hồ chứa, song cũng tiềm ẩn nguy cơ mất ổn định khi chịu tác động của động đất. Dao động địa chấn không chỉ làm thay đổi ứng xử cơ học của đất mà còn ảnh hưởng trực tiếp đến trạng thái thấm, áp lực nước lỗ rỗng và ứng suất trong thân đập, từ đó chi phối độ an toàn công trình. Bài báo này lựa chọn đập đất Thượng Kon Tum để phân tích sự biến thiên hệ số ổn định khi xảy ra động đất. Phương pháp phần tử hữu hạn và cân bằng giới hạn được áp dụng thông qua GeoStudio: Seep/W mô phỏng dòng thấm bão hòa - không bão hòa; Quake/W đưa phổ gia tốc nền động đất để phân tích trạng thái ứng suất và biến dạng; kết quả sau đó được liên kết với Slope/W để xác định sự thay đổi hệ số ổn định mái đập theo các bước thời gian. Kết quả phân tích cho thấy, khi động đất xảy ra, áp lực nước lỗ rỗng tăng nhanh và chưa kịp tiêu thoát, gây áp lực dư, dẫn đến hóa dẻo cục bộ trong khối đất, thậm chí có nguy cơ hóa lỏng ở các lớp đất bão hòa rời rạc. Các hiện tượng này làm suy giảm đáng kể sức kháng cắt của vật liệu, từ đó giảm hệ số ổn định của đập.

Từ khóa: Đập đất; động đất; ứng suất; biến dạng; ổn định.

1. Đặt vấn đề

Động đất có thể gây ra những thảm họa khôn lường, trong đó nguy cơ động đất là một mối nguy hiểm đa chiều đối với hầu hết các dự án đập, làm sập nhà cửa, hư hỏng hạ tầng, gián đoạn giao thông và dịch vụ thiết yếu. Ngoài ra, động đất thường kéo theo sóng thần, lở đất, cháy nổ và thiệt hại kinh tế nghiêm trọng, khiến nhiều cộng đồng phải gánh chịu tổn thất to lớn về người và của (Nguyễn Thế Hùng & Nguyễn Văn Hướng, 2009), (Wieland, 2016). Mặc dù Việt Nam không ở vành đai động đất lớn, nhưng vẫn tiềm ẩn nguy cơ địa chấn đáng kể. Theo số liệu, trung bình mỗi năm có khoảng 24,5 trận động đất được ghi nhận trong biên giới Việt Nam với cường độ từ 4,0 Richter trở lên (VolcanoDiscovery GmbH, 2025). Trong thế kỷ XX, hai trận động đất mạnh nhất từng xảy ra tại Việt Nam đều nằm ở vùng Tây Bắc, gồm trận Điện Biên Phủ năm 1935 (Ms $\approx$ 6,7-6,8, MSK-64 VIII-IX) và trận Tuần Giáo năm 1983 (Ms $\approx$ 6,7), cả hai đều gây thiệt hại đáng kể về công trình và sinh mạng (Nguyen Hong Phuong & Minh Le Huy, 1999). Ở phía Nam đất nước, cường độ động đất cực đại được ghi nhận đạt tới 6,1 độ Richter (trận động đất Hòn Tro năm 1923). Gần đây hơn, vào ngày 08/11/2005, một trận động đất mạnh 5,1 độ Richter đã xảy ra ngoài khơi thành phố Vũng Tàu. Cùng ngày hôm đó, một trận động đất lớn hơn mạnh 5,5 độ Richter đã xảy ra ngoài khơi bờ biển Nam Trung Bộ Việt Nam (Ngo et al., 2008). Khu vực Kon Tum (nay là tỉnh Quảng Ngãi) từng là nơi có hoạt động địa chất tương đối ổn định so với nhiều khu vực trên cả nước, ít ghi nhận hoạt động động đất. Số liệu lưu trữ của Viện Vật lý địa cầu cho thấy, từ năm 1903-2020, tại tỉnh Kon Tum chỉ có hơn 30 trận động đất, trận lớn nhất là 3,9 độ Richter. Tuy nhiên, từ tháng 4/2021 đến nay, hàng trăm trận động đất kích thích đã xảy ra tại Kon Tum, trong đó những trận động đất gây rung chấn diện rộng. Lớn nhất là trận động đất xảy ra trưa 28/7/2022 có độ lớn 5 độ Richter, trước đó ngày 23/8/2022 là trận động đất mạnh 4,7 độ Richter (Hoàng Giang, 2024). Việc phát sinh động đất kích thích phụ thuộc vào nhiều yếu tố hoạt động địa chấn kiến tạo, thủy văn, hay mực nước hồ chứa, tốc độ tích nước, tổng lượng nước cũng tác

động lên hệ thống đứt gãy hoạt động bên dưới. Việc ảnh hưởng có thể là sau vài tháng, vài năm nước ngấm đủ xuống bên dưới mới gây ra động đất. Động đất kích thích cũng xảy ra theo chu kỳ, có những thời điểm động đất xảy ra dồn dập, có thời kỳ yên tĩnh hơn, liên quan chặt chẽ đến quá trình vận hành tích nước của hồ chứa thủy điện (Hoàng Giang, 2024).

Đập là hạng mục công trình chủ yếu trong hệ thống đầu mối hồ chứa, giữ vai trò ngăn dòng, tích trữ và điều tiết nguồn nước. Công trình không chỉ đảm bảo cấp nước (tưới, phát điện, sinh hoạt,…) mà còn góp phần phòng chống lũ, cải thiện môi trường sinh thái và bảo đảm an ninh nguồn nước lâu dài. Trong tất cả các loại đập thì đập vật liệu địa phương (phần nhiều là đập đất) chiếm tỷ lệ lớn (Hood et al., 2019), (ICOLD, 2024), (Fu et al., 2018). Mặc dù trong quá trình thiết kế đập đất đã có xét đến số an toàn theo TCVN 8216:2018 (Tổng Công ty Tư vấn Xây dựng Thủy lợi Việt Nam, 2018), nhưng những tình huống bất lợi gây mất an toàn thậm chí vỡ đập vẫn có thể xảy ra trong suốt quá trình xây dựng và vận hành của đập. Sự cố đập cũng có thể gây hậu quả đặc biệt nghiêm trọng (có thể xem là thảm họa). Sự ổn định của của đập đất phụ thuộc vào nhiều yếu tố như cấu tạo mặt cắt ngang đập, địa chất nền, vật liệu đắp đập, áp lực thủy tĩnh, thủy động, áp lực sóng, lực động đất... Tuy nhiên, trong thực tế tính toán ở nước ta hiện hay, người ta thường chưa chú ý đúng mức ảnh hưởng của lực động đất đến việc tính toán ổn định đập đất. Động đất có thể trực tiếp phá hỏng kết cấu và gây mất ổn định công trình hoặc gây ra những bất lợi mà từ đó làm mất ổn định công trình một cách từ từ theo thời gian. Bên cạnh đó, khi xảy ra động đất, nền đất có thể xảy ra hiện tượng hóa lỏng làm thay đổi tính chất cơ lý và ảnh hưởng đến ổn định tổng thể của công trình. Hiện tượng hóa lỏng làm cho đất giảm thậm chí mất khả năng kháng cắt tạm thời, các hạt đất hầu như không liên kết với nhau và mất hết khả năng chống cắt vì thế sức chịu tải của nền giảm xuống làm cho công trình mất tính ổn định gây ra các hiện tượng trượt, lở, lún,… (Phạm, 2012), (Seged & Haile, 2010).

Về mặt lý thuyết, việc dự đoán ứng xử của đập khi xảy ra động đất và ổn định của mái đập dưới tác động của tải trọng động đất đòi hỏi phải phân tích tất cả các giai đoạn biến đổi tạm thời mà đập trải qua. Bài báo này tập trung vào việc đánh giá quá trình thay đổi gia tốc nền theo cấp động đất (thang MSK-64, TCVN 9386-2012) dẫn đến thay đổi trạng thái ổn định của mái đập áp dụng cho đập đất của hồ chứa nước Thượng Kon Tum, tỉnh Quảng Ngãi. Để giải quyết vấn đề tổng thể này, một mô hình số theo phương pháp phần tử hữu hạn thông qua môđun Seep/w để phân tích dòng thấm ổn định, môđun Quake/w để phân tích các ứng xử của đập khi chịu tải trọng động đất (trạng thái tĩnh và động) kết hợp với phương pháp cân bằng giới hạn thông qua môđun Slope/w để xác định sự thay đổi trạng thái ổn định của mái đập hạ lưu đã được sử dụng.

2. Cơ sở lý thuyết

2.1 Phân tích thấm

Trong môi trường thấm, quá trình thấm tuân theo định luật Darcy. Phương trình vi phân thấm tổng quát như sau:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(k_x \frac{\partial H}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(k_y \frac{\partial H}{\partial y}\right) + Q = \frac{\partial \Theta}{\partial t} \quad (1)$$

Với H là cột nước thấm tổng [m]; k_x và k_y tương ứng là hệ số thấm theo phương ngang và phương đứng [m/s]; Q là lưu lượng biên tác dụng [m^3/giây]; Θ là hàm ngậm nước thể tích [%], t là thời gian [giây]. Trong trường hợp dòng thấm ổn định thì $\frac{\partial \Theta}{\partial t} = 0$, còn ở trạng thái thấm không ổn định thì $\frac{\partial \Theta}{\partial t} \neq 0$, sự thay đổi đối với hàm lượng ngậm nước phụ thuộc vào sự thay đổi trạng thái ứng suất và tính chất của đất.

2.2 Phân tích động đất

Phân tích động đất được thực hiện theo phương pháp động (time history method), trong đó lịch sử gia tốc nền được sử dụng trực tiếp để mô phỏng phản ứng động của công trình. Cơ sở giải tích được xây dựng trên phương pháp phần tử hữu hạn, mô tả thông qua phương trình cân bằng động (Hudson, 1995):

$$[M]\{u¨\}+[C]\{u˙\}+[K]\{u\}=\{F(t)\} \quad (2)$$

Trong đó: [M], [C], [K] tương ứng là ma trận khối lượng (mass matrix) [kg], ma trận tiêu tán năng lượng (damping matrix) [kN.s/m] và ma trận độ cứng (stiffness matrix) [kN/m]; {u¨}, {u˙}, {u} lần lượt là vector gia tốc, vận tốc và chuyển vị; {F(t)} là tải trọng động do động đất gây ra [kN].

2.3 Phân tích ổn định

Hệ số ổn định để phân tích ổn định mái dốc thường được định nghĩa là tỷ số giữa sức kháng cắt lớn nhất với ứng suất cắt khi mặt trượt bắt đầu phá hoại. Có nhiều cách để thiết lập hệ số ổn định F. Cách thiết lập phổ biến nhất là giả định hệ số ổn định F không thay đổi dọc theo mặt trượt, và nó được định nghĩa theo phương pháp cân bằng mô men và/hoặc cân bằng lực. Phương pháp cân bằng giới hạn tổng quát (Generalised Limit Equilibrium Method: GLE) là dựa trên hai phương trình xác định hệ số ổn định (một phương trình là cân bằng mô men (F_m), phương trình còn lại là phương trình cân bằng lực theo phương ngang (F_f)) (Seequent Limited, 2025b):

Phương trình cân bằng mô men theo phương pháp GLE:

$$F_m = \frac{\sum(c'\beta R+(N-u\beta)R\tan\emptyset')}{\sum Wx-\sum Nf\pm\sum Dd} \quad (3)$$

Phương trình cân bằng lực theo phương ngang theo phương pháp GLE:

$$F_f = \frac{\sum(c'\beta\cos\alpha+(N-u\beta)\tan\emptyset'\cos\alpha)}{\sum N\sin\alpha-\sum D\cos\omega} \quad (4)$$

Với c' là lực dính hữu hiệu [kPa]; ϕ': góc nội ma sát hữu hiệu [độ]; u: là áp lực nước lỗ rỗng [kPa]; N: là lực pháp tuyến [kN], W: là trọng lượng lát cắt (cột đất) [kg], D: là tải trọng tập trung [kN]; β, R, x, f, d, ω, α: là các thông số hình học thay đổi theo mỗi lát cắt theo các cung trượt [m, độ].

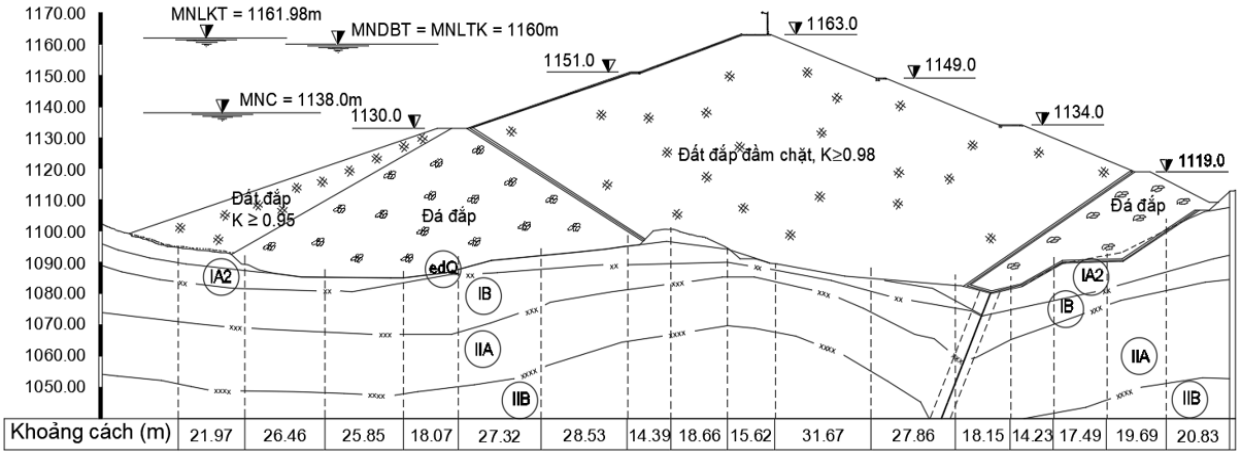
3. Áp dụng đánh giá cho đập đất thượng Kon Tum

3.1 Giới thiệu về đập đất thượng Kon Tum

Đập đất thượng Kon Tum là một hạng mục thuộc công trình thủy điện Thượng Kon Tum, là công trình thủy điện lớn với công suất 220 MW, cung cấp điện cho lưới điện quốc gia và hỗ trợ phát triển kinh tế Tây Nguyên. Công trình có đường hầm dẫn nước dài nhất Việt Nam, đập đất cao nhất và cột nước cao nhất Việt Nam, giúp khai thác hiệu quả nguồn nước sông Đắk Nghé lớn tại tỉnh Quảng Ngãi. Đỉnh đập đạt cao trình 1.164 m so với mực nước biển, với chiều cao tối đa 75,0 m, chiều dài đỉnh đập 274,2 m, chiều rộng đỉnh 10m và chiều rộng đáy lớn nhất 367 m. Dự án được khởi công vào tháng 9/2009 và hoàn thành vào tháng 5/2022. Các thông số kỹ thuật chính của đập đất như Bảng 1 và mặt cắt ngang thân đập như Hình 1. Tính chất cơ lý của các lớp địa chất nền đập và đất đắp đập như ở Bảng 2.

***Bảng 1**. Thông số kỹ thuật chính công trình*

TT	Thông số	Đơn vị	Trị số
1	Diện tích lưu vực	km^2	374
2	MNDBT	m	1160
3	MNLTK	m	1161,98
4	Mực nước chết	m	1138
5	Dung tích toàn bộ	10^6m^3	145,52
6	Dung tích hữu ích	10^6m^3	103,10
7	Dung tích chết	10^6m^3	42,46
8	Cao trình đỉnh đập	m	1164
9	Chiều cao đập	m	75
10	Chiều dài đỉnh đập	m	274.2
11	Chiều rộng đỉnh đập	m	10
12	Cấp công trình	Cấp	I

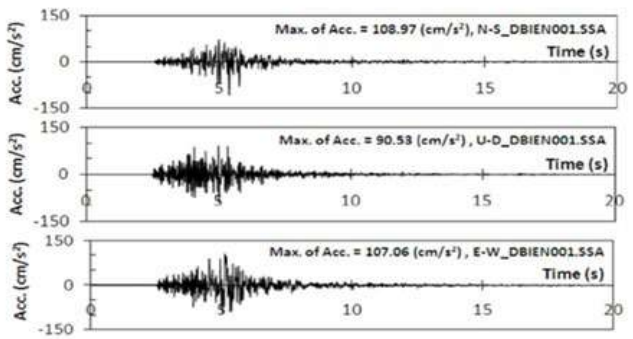


Hình 1. Mặt cắt ngang áp dụng tính toán cho đập đất thượng Kon Tum (mặt cắt D8)

Bảng 2. *Các chỉ tiêu cơ lý của nền và vật liệu đắp đập*

Lớp	Loại đất	γ_w *(kN/m³)*	φ *(độ)*	C *kPa*	μ	Hệ số giảm chấn ζ	K (m/s)
Đất đắp	Sét, á sét	17,7	19,0	3,0	0,30	5,0%	$2,80x10^{-8}$
Đá đắp	Đá granitbiôtit, granit nứt nẻ	20,0	35,0	20,0	0,25	2,0%	$1,00x10^{-2}$
edQ+IA_1	Sét, á sét lẫn dăm sạn đá granitbiôtit, gneis	19,0	18,0	2,0	0,30	5,0%	$1,10x10^{-6}$
IA_2	Đá granitbiôtit, gneis phong hóa mạnh	21,0	26,6	5,0	0,30	10%	$5,78x10^{-6}$
IB	Đá granitbiôtit, granit phong hóa	26,2	33,0	20,0	0,27	2,0%	$6,25x10^{-5}$
IIA	Đá granitbiôtit, granit nứt nẻ	26,6	40,4	35,0	0,25	2,0%	$1,16x10^{-5}$
IIB	Đá granitbiôtit, granit tương đối nguyên khối	26,6	42,0	45,0	0,22	2,0%	$4,62x10^{-5}$

Đặc điểm của các trận động đất tại Việt Nam thường là thời gian diễn ra ngắn, trong đó gia tốc nền chủ yếu tập trung vào những giây đầu tiên rồi nhanh chóng suy giảm cho đến khi kết thúc. Biểu đồ gia tốc nền của trận động đất Điện Biên năm 2001 (Hình 2) được sử dụng và hiệu chỉnh (đỉnh gia tốc nền, thời gian tác động) để phục vụ phân tích ứng xử động của đập đất Thượng Kon Tum theo phương pháp lịch sử thời gian. Phân tích này được thực hiện cho các cấp độ động đất tương ứng với thang MSK-64 từ cấp V đến cấp VIII với đỉnh gia tốc nền như ở Bảng 3.



Hình 2. Biểu đồ gia tốc động đất Điện Biên

Bảng 3. *Các kịch bản tính toán động đất (Thang MSK-64)*

Cấp động đất	Đỉnh gia tốc nền (a)g
V	0,020
VI	0,050
VII	0,100
VIII	0,200

3.2 Phương pháp nghiên cứu

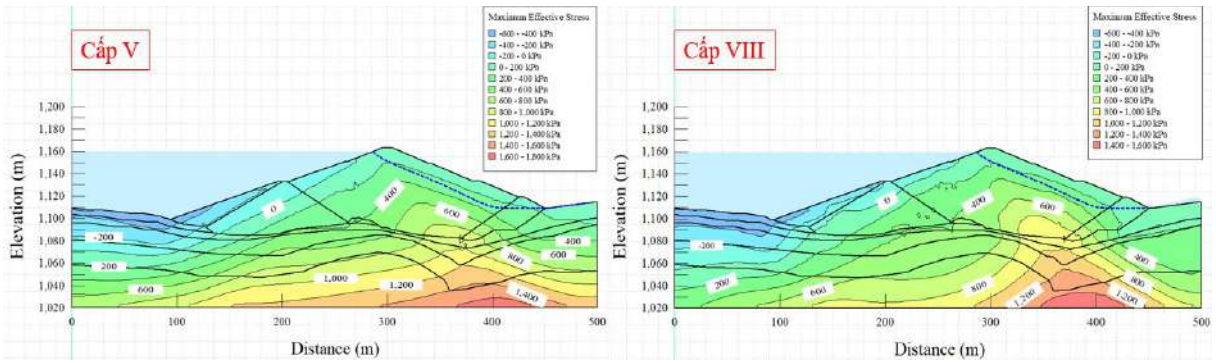
Trong nghiên cứu này, ổn định đập đất Thượng Kon Tum được phân tích bằng phương pháp lịch sử thời gian trên cơ sở phần mềm GeoStudio. Cụ thể, Seep/W được sử dụng để mô phỏng dòng thấm và áp lực nước lỗ rỗng trong thân đập, Quake/W áp dụng cho phân tích phản ứng động của đất đắp dưới tác động động đất, và Slope/W được triển khai để đánh giá ổn định mái dốc. Cách tiếp cận tích hợp này cho phép phản ánh đầy đủ điều kiện thủy lực, tải trọng động, cũng như trạng

thái giới hạn ổn định của công trình. Trình tự được tiến hành theo bốn bước: (1). Sử dụng modun Seep/W tính toán thấm ổn định qua thân đập, qua đó xác định được đường bão hòa đi trong thân đập, xác định được áp lực nước lỗ rỗng ban đầu; (2). Sử dụng modun Quake/W để phân tích bài toán tĩnh khi chưa xảy ra động đất; (3). Sử dụng modun Quake/W để phân tích bài toán động. Với trận động đất có đỉnh gia tốc nền a_g tương ứng với thang MSK-64 từ cấp V đến cấp VIII xảy ra trong khoảng thời gian 20sec, chia làm 1.000 bước thời gian, mỗi bước thời gian là 0,02sec; (4). Sử dụng modun Slope/W để tính toán hệ số ổn định K (theo các bước tính toán).

4. Kết quả và thảo luận

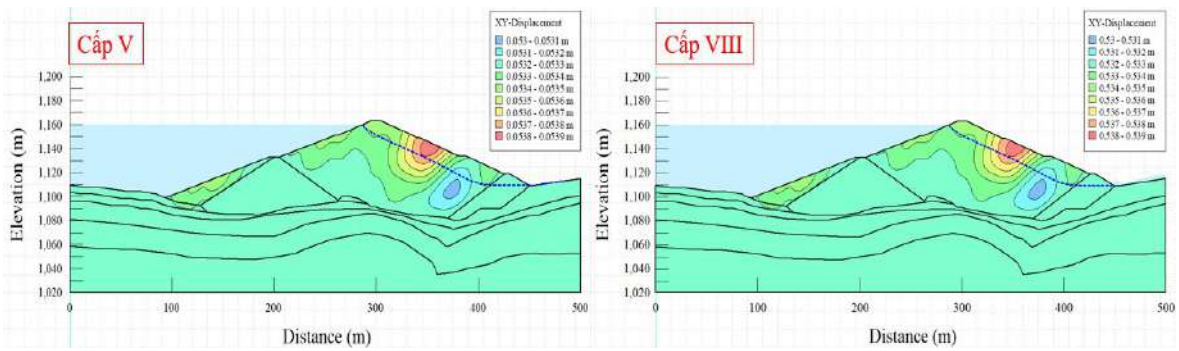
4.1 Kết quả tính toán ứng suất - biến dạng

Khi có động đất, dao động gia tốc nền gây ra tải trọng động bổ sung bên cạnh các tải trọng thường xuyên như trọng lượng bản thân đập và áp lực nước thượng lưu, lực thấm. Các vùng có ứng suất hữu hiệu (effective stress) lớn do tổ hợp lực này gây ra tập trung tại các vị trí bất lợi về mặt hình học như vùng tiếp giáp giữa thân đập và nền móng, các điểm góc, hoặc các vị trí thay đổi đột ngột về hình dạng như mái hạ lưu và chân khối lăng trụ đá hạ lưu (Hình 3).



Hình 3. Trường phân bố ứng suất hiệu dụng đại diện cho trận động đất cấp V và cấp VIII

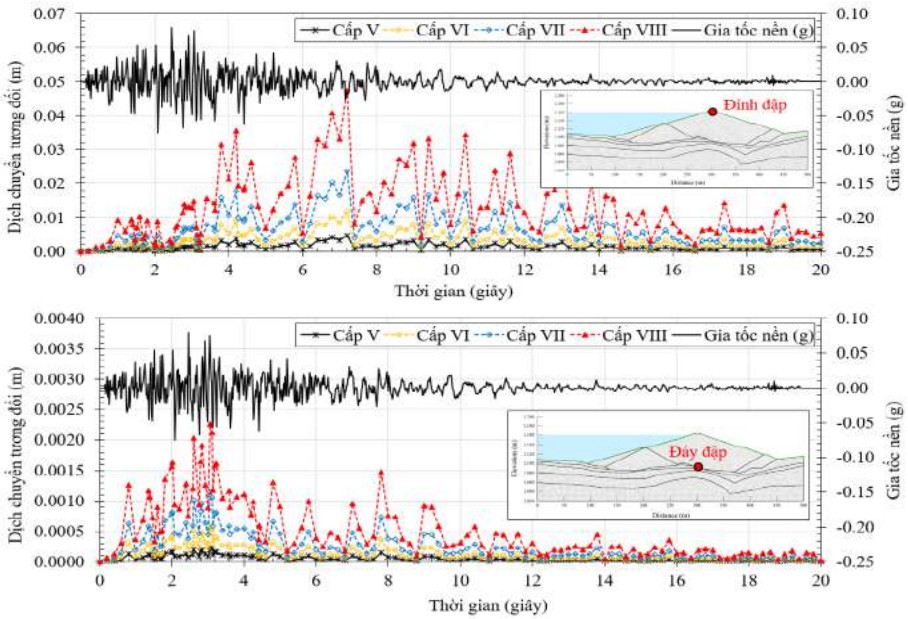
Khi động đất xảy ra, gây ra dao động cưỡng bức với biên độ dao động phụ thuộc vào nhiều yếu tố như cường độ và đặc trưng phổ gia tốc của trận động đất; cấu tạo và độ cứng của đập; trọng lượng bản thân cũng như đặc tính cơ học của nền móng. Điển hình là sự khác biệt rõ rệt về độ lớn chuyển vị theo phương XY công trình đập Thượng Kon Tum (Hình 4), trong đó, chuyển vị tuyệt đối lớn nhất tại đỉnh đập đối với kịch bản trận động đất cấp V là 0,0534 m trong khi động đất cấp VIII là 0,5342 m (tăng gấp 10 lần). Ngoài ra, kết quả ở Bảng 4 cho thấy các điểm nằm trên đỉnh đập dịch chuyển lớn hơn các điểm ở đáy và nền đập (khoảng 0,25%). Như vậy, cường độ động đất có ảnh hưởng quyết định đến độ lớn chuyển vị công trình, và là một trong những nguyên nhân chính dẫn đến biến dạng lớn, lún không đều và mất ổn định.



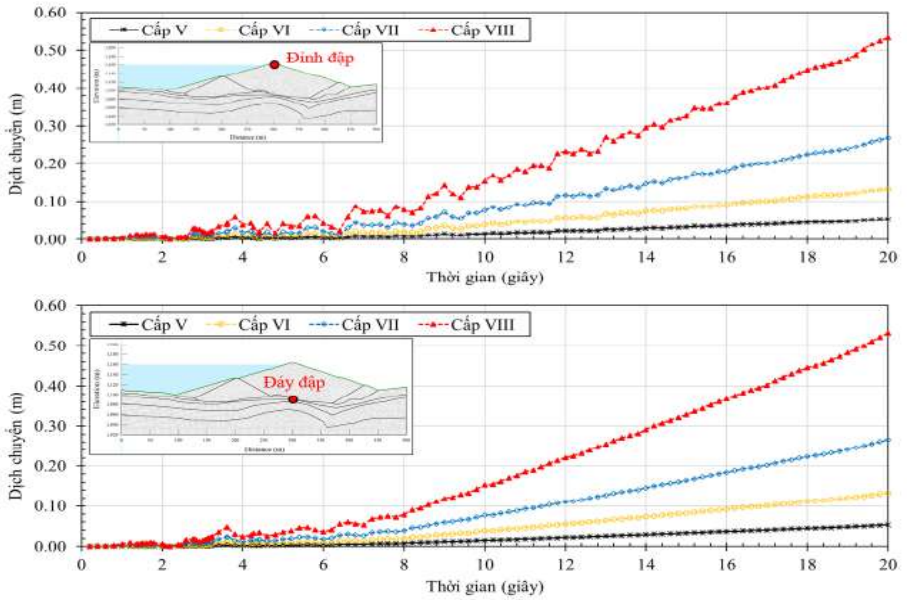
Hình 4. Trường phân bố chuyển vị tuyệt đối đại diện cho trường hợp động đất cấp V và cấp VIII

Bảng 4. *Tổng hợp giá trị chuyển vị tương đối (Relative displacement) và tuyệt đối (Displacement) lớn nhất tại đỉnh và đáy đập theo các kịch bản mô phỏng*

Thông số	Vị trí	Thang MSK-64			
		Cấp V	Cấp VI	Cấp VII	Cấp VIII
Chuyển vị tuyệt đối lớn nhất (m)	Đỉnh đập	0,0534	0,1336	0,2671	0,5342
	Đáy đập	0,0533	0,1332	0,2665	0,5329
Chuyển vị tương đối lớn nhất (m)	Đỉnh đập	0,0047	0,0118	0,0237	0,0475
	Đáy đập	0,0002	0,0006	0,0011	0,0023
Chuyển vị tuyệt đối là dịch chuyển của "vật rắn" ("vật rắn" dịch chuyển theo biên), nghĩa là chuyển vị không góp phần tạo ra những thay đổi trong ứng suất và biến dạng động; Chuyển vị tương đối là dịch chuyển so với các điều kiện biên cố định, chuyển vị này góp phần tạo ra ứng suất động (Seequent Limited, 2025a).					



Hình 5. Dịch chuyển tương đối tại đỉnh (trên) và đáy (dưới) đập theo các cấp động đất



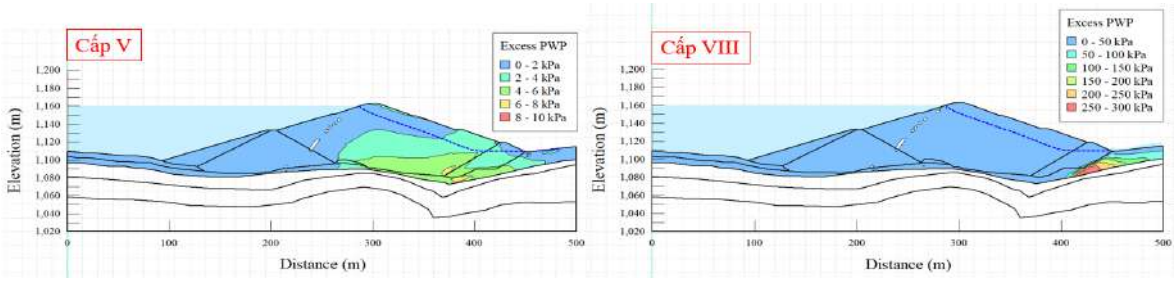
Hình 6. Dịch chuyển tuyệt đối tại đỉnh (trên) và đáy (dưới) đập theo các cấp động đất

Kết quả chuyển vị tương đối tại các điểm ở đỉnh đập và đáy đập trong suốt quá trình động đất được biểu diễn như ở Hình 5 và trị số chuyển vị tương đối lớn nhất như ở Bảng 4. Kết quả cho thấy giá trị chuyển vị tương đối lớn nhất tại vị trí đỉnh và đáy đập cũng tăng dần theo các cấp độ động

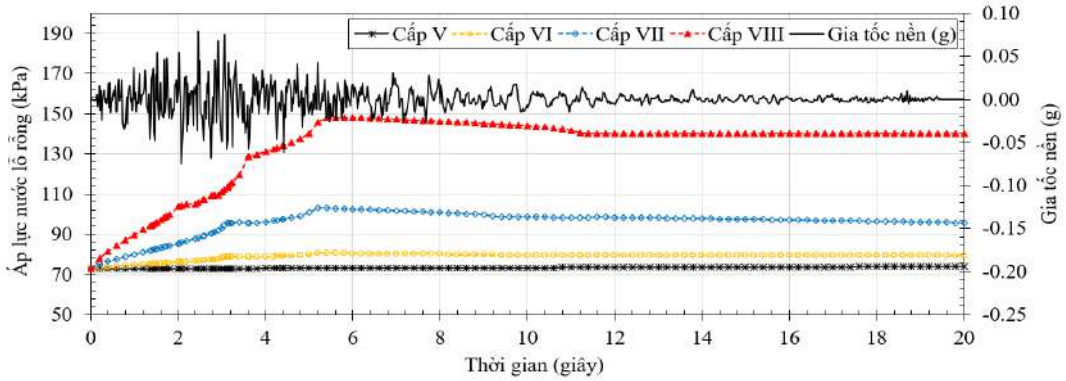
đất. Tại đỉnh, giá trị này tăng từ 0,0047 m đến 0,0475 m; tại đáy tăng từ 0,0002 m đến 0,0023 m. Như vậy, với các kịch bản khuếch đại gia tốc (tương ứng với thang MSK-64 từ cấp V đến cấp VIII) từ bản ghi động đất năm 2001 tại Điện Biên (hình 2) áp dụng tính toán cho đập đất Thượng Kon Tum cho thấy sự chuyển vị tỷ lệ thuận với gia tốc nền hay nói cách khác gia tốc nền càng lớn (cấp động đất càng lớn) thì chuyển vị càng tăng và ngược lại.

4.2 Kết quả tính toán hiện tượng hóa lỏng

Sự hóa dẻo và hóa lỏng do động đất có mối quan hệ chặt chẽ với đặc tính cơ lý của đất. Đối với đất rời có độ chặt kém, đặc biệt ở trạng thái bão hòa nước, tải trọng động đất làm áp lực nước lỗ rỗng gia tăng nhanh (hình 7, 8), dẫn đến mất ứng suất hữu hiệu và suy giảm đáng kể sức kháng cắt; khi đó hiện tượng hóa lỏng dễ xảy ra. Ngược lại, đất dính như sét mềm hay bùn ít có khả năng hóa lỏng nhưng thường chịu biến dạng dư lớn dưới tác động dao động mạnh, thể hiện dưới dạng hóa dẻo. Với đất có cấu trúc chặt chẽ hoặc đã giảm bão hòa, khả năng hóa lỏng hầu như không đáng kể. Như vậy, cơ chế mất ổn định do động đất trong đất rời bão hòa khác biệt rõ rệt so với đất dính, và mức độ nguy hiểm phụ thuộc chủ yếu vào loại đất, độ bão hòa nước và điều kiện ứng xử ban đầu của nền đất.

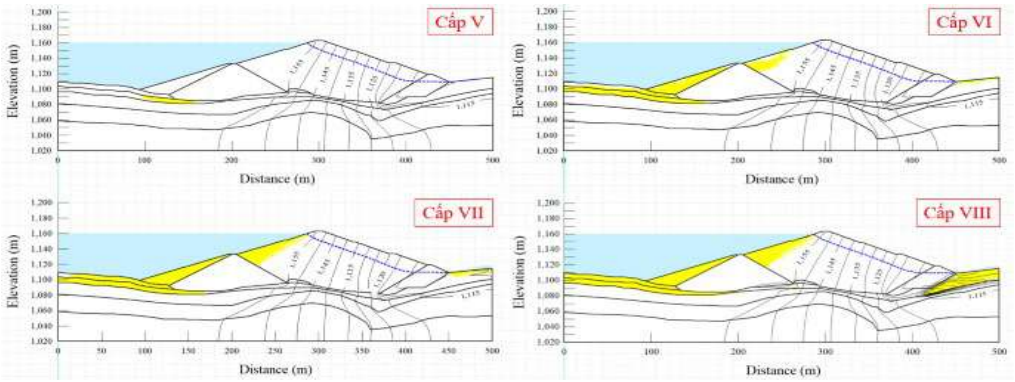


Hình 7. Trường phân bố áp lực nước dư trong thân đập đại diện cho trường hợp động đất cấp V và cấp VIII

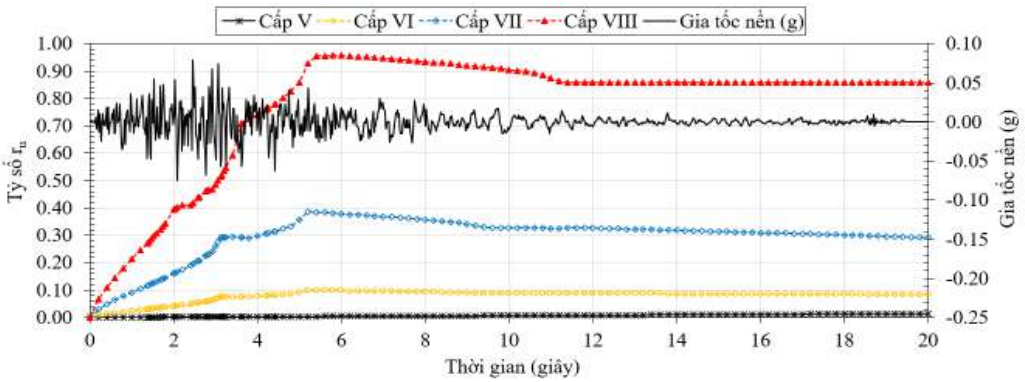


Hình 8. Áp lực nước lỗ rỗng tăng theo các kịch bản mô phỏng động đất

Để đánh giá khả năng hóa lỏng nền cần xét đến tỷ lệ áp suất lỗ rỗng dư (excess pore-pressure ratio, r_u), được xác định bằng tỷ số giữa áp suất lỗ rỗng dư (Δu) và ứng suất hữu hiệu ban đầu ở trạng thái tĩnh ($\sigma'_{3(static)}$) hay $r_u = \Delta u / \sigma'_{3(static)}$. Tỷ lệ không thứ nguyên này là một chỉ số quan trọng đánh giá khả năng hóa lỏng đất, với các giá trị gần bằng 1,0 thường biểu thị sự hóa lỏng hoàn toàn (Seequent Limited, 2025b). Đối với đập đất Thượng Kon Tum, quá trình hóa lỏng bắt đầu từ lớp nền IA2 dưới đống đá thượng lưu, sau đó lan dần lên phần đất đắp mái thượng lưu và khu vực nền địa chất phía sau đống đá hạ lưu (Hình 9). Biểu đồ thay đổi tỷ lệ áp suất lỗ rỗng dư như Hình 10 cũng cho thấy tỷ số r_u tăng dần theo các kịch bản động đất và thời gian xảy ra động đất. Đặc biệt, tại vị trí đang xét thì đối với động đất cấp VIII xảy ra hiện tượng hóa lỏng khi giá trị r_u gần bằng 1,0.



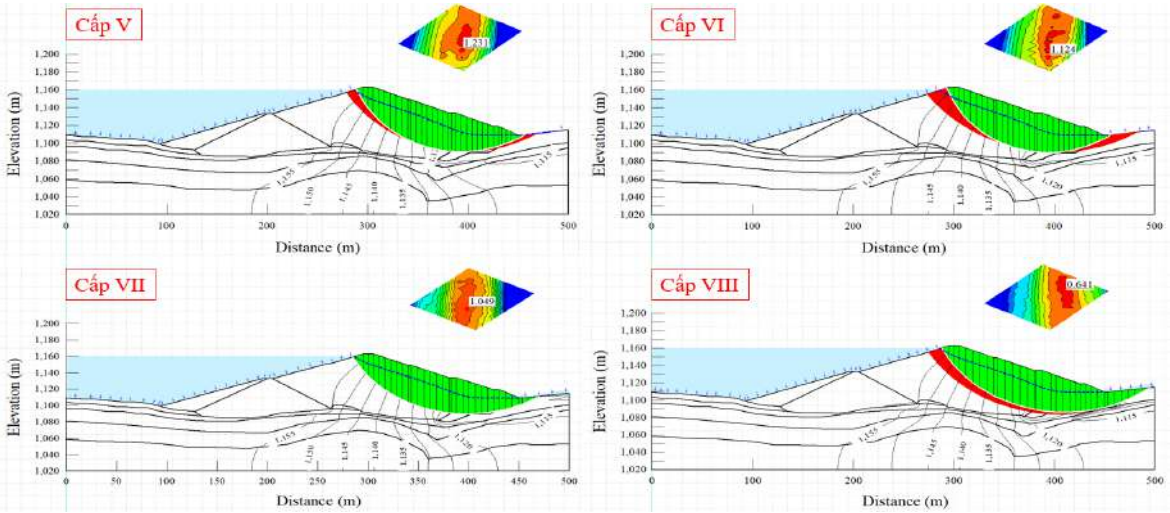
Hình 9. Kết quả mô phỏng quá trình hóa lỏng nền và thân đập



Hình 10. Biểu đồ thay đổi tỷ lệ áp suất lỗ rỗng dư r_u tại nền đập nơi tiếp giáp với lăng trụ đá hạ lưu theo các kịch bản động đất

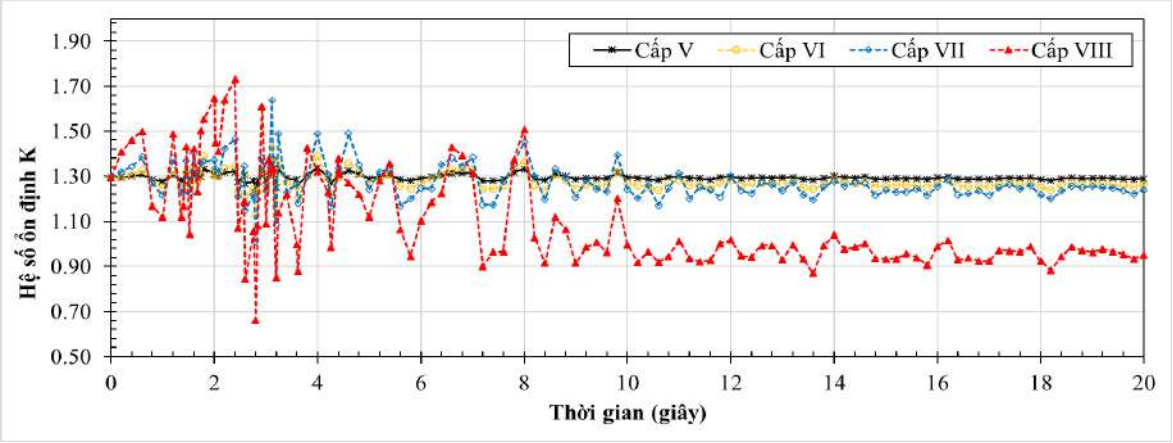
4.3 Kết quả tính toán ổn định mái hạ lưu

Dưới tác động của gia tốc nền, thân đập chịu thêm lực quán tính làm tăng tải trọng trượt tiềm năng trên mái dốc và kéo theo sự suy giảm hệ số ổn định. Đồng thời, dao động động đất có thể gây gia tăng đáng kể áp lực nước lỗ rỗng trong các lớp đất bão hòa, làm giảm ứng suất hữu hiệu và sức kháng cắt, nguy cơ xảy ra hiện tượng hóa lỏng. Đối với đất dính mềm, sự rung động liên tục dễ dẫn đến biến dạng dẻo lớn, tạo điều kiện cho trượt mái phát triển. Ngoài ra, quá trình rung có thể hình thành các khe nứt hoặc lún sụt cục bộ, gây rối loạn trường thấm và làm giảm thêm khả năng ổn định của kết cấu. Các cơ chế này cho thấy động đất không chỉ tác động trực tiếp bởi tải trọng động mà còn làm biến đổi điều kiện thủy lực và cơ học của đất, từ đó làm tăng nguy cơ mất ổn định tổng thể của mái đập. Hình 11 cho thấy kết quả đối với mặt trượt nguy hiểm nhất trong điều kiện gia tốc cực đại.

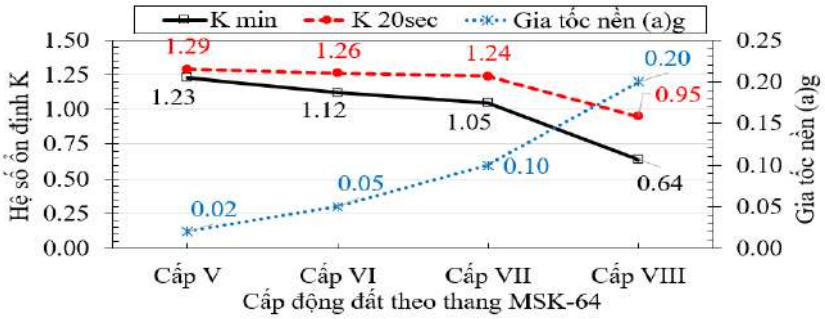


Hình 11. Mặt trượt nguy hiểm và hệ số ổn định K nhỏ nhất theo các kịch bản động đất

Gia tốc nền tác động lên thân và nền đập như một lực quán tính lớn, làm thay đổi phân bố ứng suất trong đập, đặc biệt với đất trong thân hoặc nền đập bão hòa nước. Tác động của gia tốc nền không chỉ làm giảm khả năng chịu lực của đập mà còn có thể gây mất ổn định tổng thể, dẫn đến sự cố nghiêm trọng hoặc vỡ đập. Hình 12 thể hiện mối quan hệ giữa hệ số an toàn trong suốt thời gian xảy ra động đất đối với đập đất Thượng Kon Tum tương ứng các kịch bản gia tốc nền khác nhau, hệ số ổn định đối với động đất cấp VI, VII và cấp VIII giảm thấp hơn hệ số ổn định cho phép ($[K]_{cp}$ = 1,22: đối với công trình cấp I và tổ hợp đặc biệt (Tổng Công ty Tư vấn Xây dựng Thủy lợi Việt Nam, 2018).



Hình 12. Biểu đồ so sánh sự thay đổi hệ số ổn định K tương ứng với các cấp động đất trong thời gian 20 giây



Hình 13. Biểu đồ thể hiện hệ số ổn định K_{min} và K_{20sec} tương ứng với các cấp động đất

Sau khi kết thúc động đất, hệ số ổn định mái đập có dấu hiệu phục hồi (tăng) tỷ lệ với cấp độ động đất. Điển hình như động đất cấp VI, VII hệ số ổn định nhỏ nhất lần lượt là 1,12 và 1,05 (thấp hơn ($[K]_{cp}$ = 1,22) nhưng sau 20 giây (động đất kết thúc) tăng dần về giá trị 1,26 và 1,24 (lớn hơn $[K]_{cp}$ = 1,22). Tuy nhiên, với động đất lớn hơn (cấp VIII), sau khi quá trình động đất kết thúc, hệ số ổn định K vẫn nhỏ hơn $[K]_{cp}$ = 1,22, hay nói cách khác đập không còn có khả năng trở lại thời điểm ổn định ban đầu (hình 13).

5. Kết luận

Từ các kết quả đạt được, nghiên cứu này có những kết luận sau đây:

- Phương pháp phần tử hữu hạn và cân bằng giới hạn được áp dụng thông qua GeoStudio, gồm các môđun: Seep/W mô phỏng dòng thấm bão hòa - không bão hòa; Quake/W đưa phổ gia tốc nền động đất để phân tích trạng thái ứng suất và biến dạng; kết quả sau đó được liên kết với Slope/W để xác định sự thay đổi hệ số ổn định mái đập. Điều này giúp cho việc phân tích diễn biến ứng xử đập đất dưới tác động của động đất ở bất kỳ mọi thời điểm. Độ ổn định của mái đập ở bất kỳ thời điểm nào cũng được liên kết nhằm đánh giá phù hợp với các trận động đất xảy ra trong thực tế.

- Đối với đập đất Thượng Kon Tum, các trường hợp giả định động đất cấp V, VI, VII và VIII, hệ số ổn định đối với động đất cấp VI, VII và cấp VIII đều giảm thấp hơn hệ số ổn định cho phép ($[K]_{cp}$ = 1,22: đối với công trình cấp I và tổ hợp đặc biệt. Trong khi đó, theo tiêu chuẩn Việt Nam

TCVN 9386:2012 về Thiết kế công trình chịu động đất thì thủy điện Thượng Kon Tum nằm trong vùng động đất cấp VII. Do vậy, trong thực tế tính toán và thiết kế công trình chịu động đất, cần đánh giá đầy đủ sự thay đổi phổ gia tốc nền thực tế nhằm đảm bảo tính ổn định công trình theo thời gian thực.

- Hiện tượng hóa dẻo và hóa lỏng trong đập đất do động đất phụ thuộc chặt chẽ vào loại đất, độ bão hòa và cường độ địa chấn. Đất rời bão hòa dễ xảy ra hóa lỏng khi chịu tải trọng động, trong khi đất dính chủ yếu biến dạng dưới dạng hóa dẻo. Khi cường độ động đất tăng lên, thể tích hóa lỏng tăng đáng kể, phản ánh rõ ràng mối liên hệ giữa điều kiện địa chất và nguy cơ mất ổn định công trình.

- Độ ổn định của mái thượng lưu đập đất khi xảy ra động đất bị ảnh hưởng đáng kể bởi độ lớn gia tốc nền theo thời gian và theo không gian. Mặc dù theo thiết kế hiện nay chỉ được phân tích tĩnh tương đương hay giả sử gia tốc nền là một lực ngang tác dụng lên đập, điều này chưa phản ánh đúng thực tế đặc tính làm việc của đập đất cũng như các lực động do quá trình động đất gây ra.

Tài liệu tham khảo

Fu, X., Gu, C.-S., Su, H.-Z., & Qin, X.-N. (2018). Risk analysis of earth-rock dam failures based on fuzzy event tree method. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *15*(5), 886.

Hoàng Giang. (2024). *Viện Vật lý địa cầu thông tin về nguyên nhân xảy ra liên tiếp các trận động đất tại Kon Tum*. Báo Điện Tử Chính Phủ. https://baochinhphu.vn/vien-vat-ly-dia-cau-thong-tin-ve-nguyen-nhan-xay-ra-lien-tiep-cac-tran-dong-dat-tai-kon-tum-102240729142450456.htm

Hood, K., Perez, R. A., Cieplinski, H. E., Hromadka, T. V, Moglen, G. E., & McInvale, H. D. (2019). Development of an earthen dam break database. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, *55*(1), 89-101.

Hudson, D. E. (1995). *Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering, by Anil K. Chopra, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1995. No. of pages: xxviii+ 761, ISBN 0-13-855214-2*. Wiley Online Library.

Ngo, T., Nguyen, M. D., & Nguyen, D. B. (2008). Review of the current Vietnamese earthquake design code. *Electronic Journal of Structural Engineering*, *01*, 32-41.

Nguyen Hong Phuong, & Minh Le Huy. (1999). *Science and Technology News: Earthquakes, tsunamis and lessons learn from the world*. Vietnam Academy of Science and Technology. https://vast.gov.vn/web/vietnam-academy-of-science-and-technology/tin-chi-tiet/-/chi-tiet/earthquakes-tsunamis-and-lessons-learn-from-the-world-8911-871.html

Nguyễn Thế Hùng, & Nguyễn Văn Hướng. (2009). Nghiên cứu ảnh hưởng của động đất đến đập đất ở Việt Nam. *Tạp Chí Khoa Học và Công Nghệ Đại Học Đà Nẵng*, *32*(3), 61-66.

Phạm, K. D. (2012). *Nghiên cứu cơ chế hóa lỏng do động đất của đập vật liệu địa phương*.

Seequent Limited, T. B. S. C. (2025a). *Dynamic Earthquake Modeling with GeoStudio*. GeoStudio.

Seequent Limited, T. B. S. C. (2025b). *Stability Modeling with GeoStudio*.

Seged, H., & Haile, M. (2010). Earthquake induced liquefaction analysis of Tendaho earth-fill dam. *Zede Journal*, *27*, 1-11.

The International Commission On Large Dams (ICOLD). (2024). *General Synthesis: The present edition of the Register, updated December 2024*. https://www.icold-cigb.org/article/GB/world_register/general_synthesis/general-synthesis

Tổng Công ty Tư vấn Xây dựng Thủy lợi Việt Nam. (2018). *TCVN 8216:2018 về Công trình thủy lợi - Thiết kế đập đất đầm nén*. Bộ Khoa học và Công nghệ.

VolcanoDiscovery GmbH. (2025). *Latest earthquakes in Vietnam - list and map*. https://www.volcanodiscovery.com/earthquakes/vietnam.html

Wieland, M. (2016). Safety aspects of sustainable storage dams and earthquake safety of existing dams. *Engineering*, *2*(3), 325-331.

Stability Assessment of Earth Dams under Earthquake Conditions: Application to the Thuong Kon Tum Earth Dam

Nguyen Trung Quan[1,*], Nguyen Quang Huy[2], Nguyen Thi Loc[3], Lê Ngọc Viên[4], Nguyen Van Huong[1]

[1]*The University of Science and Technology - University of Da Nang*
[2]*Yachiyo Engineering Co., Ltd, Japan*
[3]*Central College of Transport No. 5*
[4]*Central Region College of Technology, Economics and Water Resources*
**Corresponding author: Email: ntquan@dut.udn.vn*

Abstract

Embankment dams are a critical component in reservoir systems but also pose potential risks of instability when subjected to seismic activity. Seismic vibrations not only alter the mechanical behavior of soil but also directly affect seepage conditions, pore water pressure, and stress distribution within the dam body, thereby influencing the overall safety of the structure. This paper selects the Thuong Kon Tum earth dam as a case study to analyze the variation in the stability factor during an earthquake. The finite element and limit equilibrium methods are applied using GeoStudio software: Seep/W is used to simulate saturated-unsaturated seepage flow; Quake/W incorporates earthquake ground acceleration spectra to analyze stress and deformation states; and the results are then linked to Slope/W to determine changes in the slope stability factor over time steps. The analysis results show that, during an earthquake, pore water pressure rises rapidly and cannot dissipate in time, creating excess pressure that leads to local plasticization of the soil mass, and potentially causes liquefaction in saturated loose soil layers. These phenomena significantly reduce the shear strength of the material, thereby decreasing the stability factor of the dam.

Keyword: Earth dam; earthquake; stress; deformation; stability.

ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA TỶ LỆ BẢN ĐỒ ĐỊA CHẤT ĐẾN VIỆC CHỌN TUYẾN ĐƯỜNG CAO TỐC TUYÊN QUANG - HÀ GIANG, ĐOẠN QUA TỈNH TUYÊN QUANG CŨ

Nguyễn Đức Đảm[1,*], Phạm Thái Bình[1], Nguyễn Đức Mạnh[2,*], Nguyễn Công Định[2]

[1]Trường Đại học Công nghệ Giao thông Vận tải

[2]Trường Đại học Giao thông Vận tải

**Tác giả liên hệ: Email: damnd@utt.edu.vn; nguyenducmanh@utc.edu.vn*

Tóm tắt

Trong thiết kế tuyến đường ô tô qua khu vực đồi núi, đặc biệt tại khu vực có địa hình chia cắt mạnh, việc lựa chọn hướng tuyến phù hợp không chỉ đảm bảo ổn định công trình và hiệu quả đầu tư, mà còn quyết định an toàn khai thác công trình. Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của tỷ lệ bản đồ địa chất trong nhận diện nguy cơ mất ổn định sườn dốc thông qua bản đồ tỷ lệ 1/50.000 và 1/200.000 tại khu vực dọc tuyến cao tốc Tuyên Quang - Hà Giang đang xây dựng. Trên cơ sở thu thập 139 điểm sụt trượt từ khảo sát thực địa vùng phụ cận dọc tuyến, nghiên cứu đánh giá và phân tích mức độ ảnh hưởng sụt trượt trong các phân vị địa chất có mặt trong phạm vi nghiên cứu. Kết quả chạy mô hình cho thấy, bản đồ tỷ lệ lớn nhận diện tốt hơn, phản ánh mối quan hệ giữa điều kiện địa chất với các điểm sụt trượt thực tế. Kiểm chứng hiện trường cho thấy, các điểm trượt mới phát sinh khi xây dựng đường dễ trùng khớp với các phân vị trên bản đồ tỷ lệ 1/50.000. Theo đó, bước đầu đề xuất sử dụng bản đồ địa chất tỷ lệ lớn ngay từ giai đoạn nghiên cứu tiền khả thi để tối ưu hóa hướng tuyến và phần nào giảm nguy cơ sụt trượt khi xây dựng các tuyến giao thông mới ở miền núi.

Từ khóa: Tuyến đường xây dựng mới, sụt trượt, bản đồ địa chất, tỷ lệ bản đồ, vùng đồi núi.

1. Mở đầu

Trong thiết kế đường ô tô, đặc biệt là tại các khu vực đồi núi có địa hình phức tạp, việc lựa chọn hướng tuyến phù hợp là một trong những nhiệm vụ quan trọng có ảnh hưởng trực tiếp đến ổn định và hiệu quả đầu tư dự án. Các tiêu chuẩn kỹ thuật hiện hành như TCVN 4054:2005, TCVN 5729:2012, TCCS 31:2020/TCĐBVN [1-3] yêu cầu hướng tuyến được xác định trên cơ sở đánh giá đầy đủ các yếu tố địa hình, địa chất và thủy văn và hạn chế tối đa đi qua các vùng địa chất yếu, vùng có nguy cơ tai biến địa chất như sụt trượt, xói mòn... Quá trình này không chỉ đảm bảo các yếu tố hình học theo tiêu chuẩn thiết kế mà còn phân tích điều kiện mái dốc, mức độ phong hóa, thảm thực vật, địa mạo, mực nước ngầm. Việc đánh giá tổng hợp các yếu tố này là cơ sở quan trọng để lựa chọn hướng tuyến tối ưu, đảm bảo hiệu quả kỹ thuật, ổn định nền đường và giảm thiểu rủi ro trong quá trình khai thác công trình.

Hiện nay, việc lựa chọn hướng tuyến trong các dự án xây dựng đường giao thông miền núi chủ yếu dựa vào yếu tố địa hình, các điểm khống chế kỹ thuật và phương án tuyến ngắn nhất nhằm thuận lợi cho thi công và tối ưu hóa chi phí đầu tư ban đầu. Trong khi đó, bản đồ địa chất, địa chất công trình là yếu tố quan trọng nhưng chưa được xem xét kỹ trong quá trình lựa chọn hướng tuyến ngay từ giai đoạn thiết kế ban đầu. Thực tế các tuyến đường được thiết kế đạt tiêu chuẩn nhưng khi xây dựng các vấn đề địa chất dần phát hiện, buộc phải điều chỉnh hướng tuyến hoặc bổ sung giải pháp xử lý địa kỹ thuật phức tạp. Điều này không chỉ làm tăng chi phí xây dựng, mà còn kéo dài tiến độ thi công xây dựng dự án, ảnh hưởng đến tính hiệu quả và bền vững tổng thể của công trình [4]. Bên cạnh đó, hiện tượng sụt trượt đất đá xảy ra phổ biến tại khu vực có địa chất yếu, lớp phong hóa dày hoặc nằm gần đới đứt gãy hoạt động đặt ra yêu cầu cần nhận diện sớm các khu vực nguy cơ cao ngay từ khâu lựa chọn hướng tuyến. Tuy nhiên, việc khai thác hiệu quả bản đồ địa chất sẵn có trong quá trình lựa chọn hướng tuyến vẫn còn nhiều hạn chế. Các bản đồ tỷ lệ nhỏ 1:200.000 chỉ cung cấp tổng quát về nền địa chất và thường bỏ sót các đặc điểm địa chất bất lợi

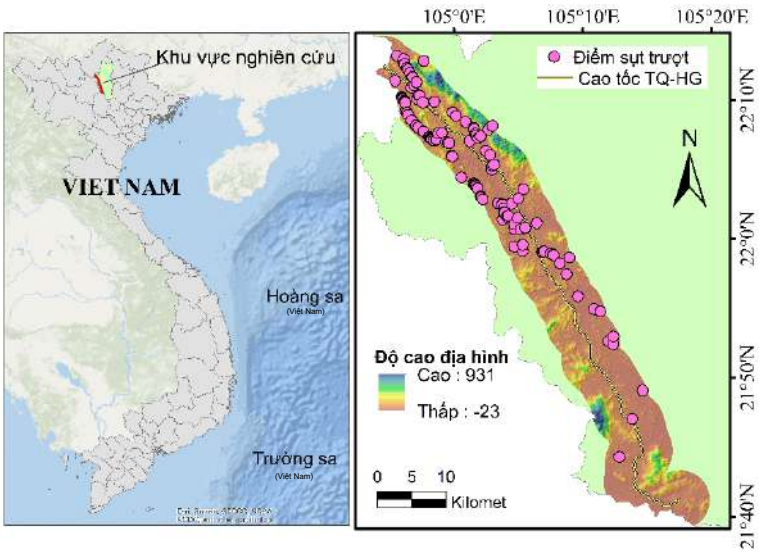
như vết trượt cổ, đới karst hay lớp phong hóa sâu. Trong khi đó, bản đồ địa chất tỷ lệ lớn 1:50.000 mô tả cấu trúc địa chất dọc tuyến, giúp đánh giá chính xác hơn nguy cơ sụt trượt nhưng nhiều khu vực chưa được tiến hành đo vẽ [5].

Nhiều nghiên cứu cho thấy tỷ lệ bản đồ có sự khác biệt về hiệu quả. Điển hình là tuyến đường Hồ Chí Minh sử dụng bản đồ địa chất và khoáng sản 1/200.000 để phân loại tổng quát đá dọc tuyến thành 7 nhóm: (1) đá magma axit; (2) đá trầm tích Mesozoi; (3) đá vôi; (4) đá trầm tích lục nguyên có than; (5) đá biến chất; (6) đá biến chất xen trầm tích; và (7) trầm tích Đệ Tứ. Kết quả cho thấy sự khác biệt lớn giữa các nhóm đá: khu vực đá magma axit có diện tích 519,3 km² nhưng không ghi nhận vụ sụt trượt nào, trong khi nhóm đá biến chất xen trầm tích rộng 1.340 km² lại có tới 484 điểm trượt. Mật độ sụt trượt của nhóm đá này đạt 0,361 vụ/km² cao gấp nhiều lần các nhóm đá khác [5]. Kết quả phù hợp với đặc điểm địa chất là tầng đá biến chất xen trầm tích gồm phiến sét, phyllit… thường bị dập vỡ và phong hoá mạnh dễ sụt trượt; ngược lại, khối granit magma tương đối đặc chắc nên địa hình ổn định hơn. Tương tự, tuyến Quốc lộ 6 sau khi cải tạo, nhiều đoạn taluy vẫn liên tục sụt trượt, đặc biệt ở những nơi đi qua tầng đá phiến sét, phyllit phong hoá mạnh [6]. Đơn vị thiết kế phải bổ sung khảo sát địa chất công trình, lập các mặt cắt địa kỹ thuật chi tiết và áp dụng các giải pháp gia cố như neo, lưới thép hoặc tường chắn, khiến chi phí và thời gian thi công tăng đáng kể. Từ những phân tích trên cho thấy, việc sử dụng trực tiếp nền bản đồ địa chất tỷ lệ khác nhau, hoặc phục vụ lập bản đồ phần vùng nguy cơ sụt trượt, làm cơ sở đánh giá hiệu quả trong việc lựa chọn hướng tuyến đường giao thông xây mới qua vùng đồi núi, nhằm giảm thiểu sụt trượt khi xây dựng và khai thác đường là quan trọng và cần thiết.

2. Đặc điểm khu vực nghiên cứu và cơ sở dữ liệu

Khu vực nghiên cứu dọc theo hướng tuyến cao tốc xây dựng mới Tuyên Quang - Hà Giang, đoạn qua địa bàn tỉnh Tuyên Quang cũ, có độ cao phổ biến là từ 200 m đến 600 m. Trên nền độ cao này có một số ngọn núi cao trên 1.000 m như Chạm Chu 1.587 m (phía Bắc huyện Hàm Yên cũ), Pia Phương, Ta Pao, Kia Tăng (phía Bắc huyện Na Hang cũ). Khu vực có độ dốc trung bình khoảng 25° ở phía Bắc và (20 - 25)° ở phía Nam. Địa hình bị chia cắt mạnh, bởi các thung lũng sâu, sườn dốc đứng và các khe tụ thủy, tạo thành một cấu trúc địa mạo phức tạp, gây khó khăn cho các hoạt động xây dựng và phát triển hạ tầng kỹ thuật.

Trong nghiên cứu này, dữ liệu hiện trạng sụt trượt được thu thập từ khảo sát thực địa với tổng cộng 139 điểm sụt trượt phân bố trong phạm vi bề rộng 4 km dọc tuyến đường Tuyên Quang - Hà Giang đang triển khai xây dựng. Trong đó, 100 điểm xác định dọc theo tuyến quốc lộ, tỉnh lộ và 39 điểm còn lại thuộc khu vực nghiên cứu. Quá trình khảo sát các điểm sụt trượt được thực hiện bằng thiết bị định vị cầm tay GARMIN 64S [7].



Hình 1. Khu vực nghiên cứu tuyến cao tốc Tuyên Quang - Hà Giang

Dữ liệu địa chất sử dụng được thu thập từ cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam bao gồm bản đồ địa chất tỷ lệ 1:200.000 và 1:50.000. Đây là bản đồ địa chất đã được xây dựng và biên tập bao trùm toàn bộ lãnh thổ Việt Nam, phục vụ nhiều mục đích nghiên cứu, thiết kế và quy hoạch công trình, đặc biệt trong lĩnh vực giao thông [8]. Theo đó, mỗi phân vị địa chất đều có cấu trúc khác nhau, phản ánh sự phân tầng của các phân vị địa chất. Tuy nhiên, nghiên cứu tập trung vào định hướng và lựa chọn hướng tuyến tối ưu mà không phân tích sâu vào chi tiết cấu trúc của từng hệ tầng.

3. Ảnh hưởng của tỷ lệ bản đồ địa chất đến lựa chọn hướng tuyến

3.1 Phương pháp nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, hệ thống thông tin địa lý (GIS) được sử dụng để xử lý các lớp dữ liệu như bản đồ địa chất và các điểm sụt trượt thu thập từ thực địa. Thông qua quá trình chồng xếp dữ liệu nghiên cứu xác định chính xác sự phân bố các điểm trượt trong từng đơn vị địa chất. Để đánh giá mức độ ảnh hưởng của từng phân vị đến hiện tượng sụt trượt, nghiên cứu áp dụng các chỉ số định lượng gồm: tần suất sụt trượt và phần trăm sụt trượt. Các chỉ số này là cơ sở để nhận diện các phân vị địa chất có nguy cơ mất ổn định cao. Trong đó, phần trăm sụt trượt phản ánh tỷ lệ của các điểm sụt trượt nằm trong từng phân vị địa chất so với tổng số điểm sụt trượt của toàn vùng nghiên cứu, được xác định theo công thức [9, 10]:

$$A_i = \frac{N_i}{N} \times 100 \quad (1)$$

Trong đó: N_i là số điểm sụt trượt ghi nhận trong phân vị địa chất thứ i; N là tổng số điểm sụt trượt được ghi nhận trong toàn bộ khu vực nghiên cứu.

Tỷ số tần suất sụt trượt phản ánh mức độ tập trung (mật độ) của các điểm sụt trượt trong từng phân vị địa chất so với toàn vùng và được tính theo công thức [10]:

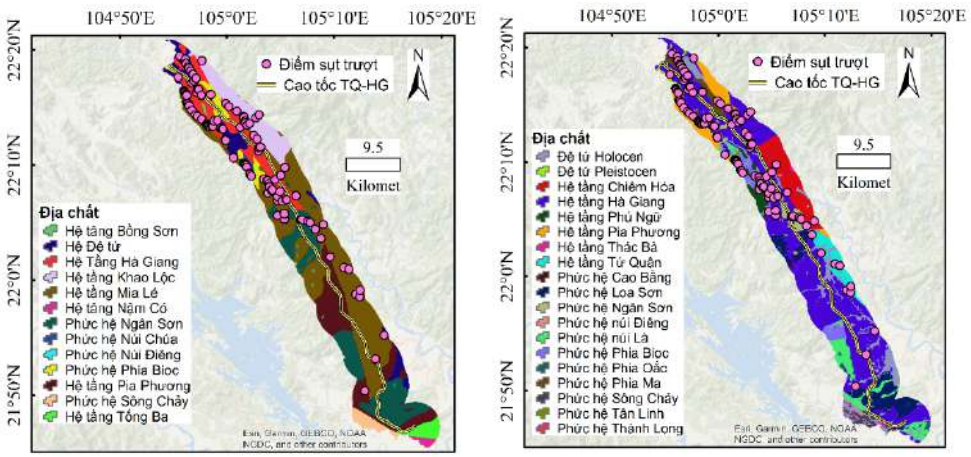
$$FR = \frac{A_i}{A_j} \quad (2)$$

Trong đó: A_i là phần trăm số lượng sụt trượt trên phân vị địa chất thứ i; A_j là phần trăm diện tích của phân vị địa chất thứ i.

3.2 Ảnh hưởng của tỷ lệ bản đồ địa chất đến lựa chọn hướng tuyến

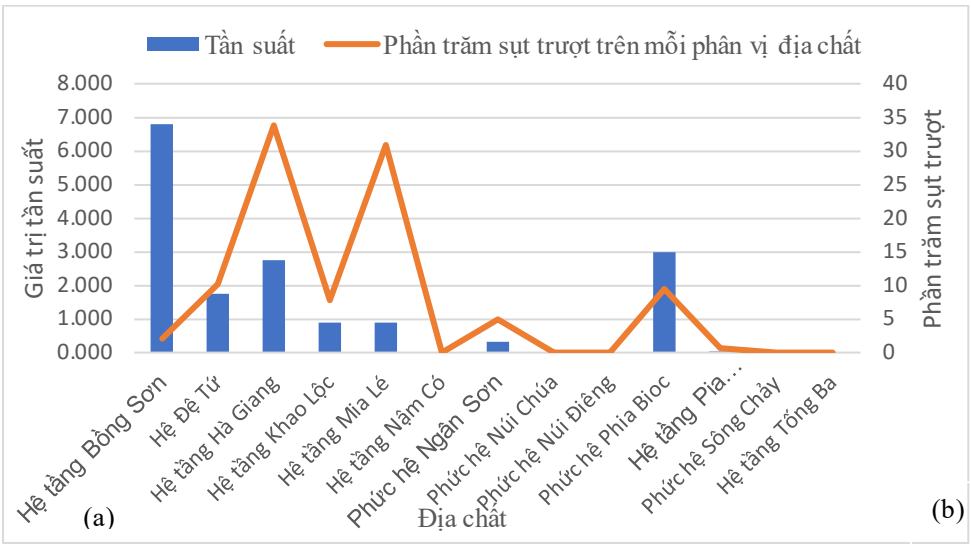
Kết quả bản đồ địa chất tỷ lệ 1:200.000 và 1:50.000 thể hiện sự khác biệt ở mức độ chi tiết trong phân vị địa chất cũng như khả năng nhận diện điểm sụt trượt. Cụ thể, bản đồ địa chất tỷ lệ 1:200.000 ghi nhận 13 phân vị, trong đó các phân vị có số vụ sụt trượt cao gồm hệ tầng Hà Giang (47 điểm), Mia Lé (43 điểm), Đệ Tứ (14 điểm), Phia Bioc (13 điểm), Khao Lộc (11 điểm), Ngân Sơn (7 điểm), Bồng Sơn (3 điểm); một số phân vị như Nậm Có, Núi Chúa, Núi Điêng, Sông Chảy và Tống Ba không ghi nhận điểm trượt. Đối với bản đồ địa chất tỷ lệ 1:50.000 có 19 phân vị địa chất, trong đó phân vị địa chất sụt trượt cao như hệ tầng Hà Giang (54 điểm), hệ tầng Pia Phương (25 điểm), hệ tầng Phú Ngữ (14 điểm), hệ tầng Tứ Quận (8 điểm), phức hệ Ngân Sơn (8 điểm), phức hệ Núi Là (10 điểm), hệ Đệ Tứ Holocen (7 điểm), hệ Đệ Tứ Pleistocen (4 điểm), phức hệ Phia Bioc (4 điểm), phức hệ Phia Ma (3 điểm) và hệ tầng Chiêm Hóa (2 điểm). Các phân vị địa chất hệ tầng Thác Bà, phức hệ Cao Bằng, phức hệ Loa Sơn, phức hệ Núi Điêng, phức hệ Phia Oắc, phức hệ Sông Chảy, phức hệ Tân Linh và phức hệ Thành Long không ghi nhận điểm sụt trượt nào.

Từ phân tích trên cho thấy hệ tầng Hà Giang là phân vị địa chất có số lượng điểm sụt trượt cao nhất trong cả hai bản đồ. Tuy nhiên, sự khác biệt về tỷ lệ bản đồ đã mang lại giá trị khác nhau trong việc nhận diện và khoanh vùng khu vực có nguy cơ. Cụ thể, bản đồ địa chất tỷ lệ 1:50.000, với khả năng thể hiện chi tiết hơn về không gian và ranh giới phân vị địa chất, đã mô tả rõ hơn cấu trúc và đặc điểm địa chất của hệ tầng Hà Giang.

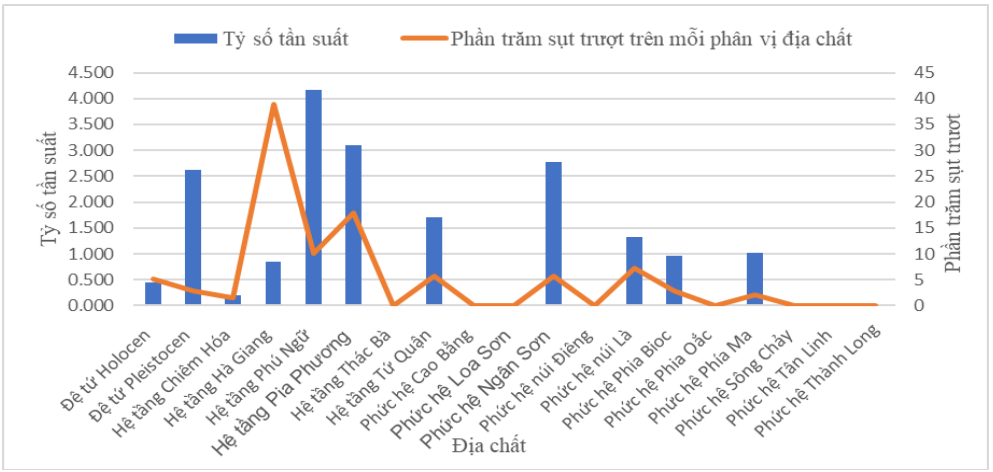


Hình 2. Bản đồ địa chất tỷ lệ 1:200.000 và 1:50.000

Phân tích từ bản đồ địa chất tỷ lệ 1:200.000 trên hình 3 cho thấy hệ tầng Bồng Sơn có tỷ số tần suất sụt trượt cao nhất (6,773), tiếp theo là Phia Bioc (2,986), Hà Giang (2,771), Đệ Tứ (1,746) và Khao Lộc (0,910), trong khi các phân vị như Nậm Có, Núi Chúa, Núi Điêng, Sông Chảy và Tống Ba không ghi nhận điểm trượt. Về phần trăm sụt trượt, hai hệ tầng Hà Giang (33,81%) và Mia Lé (30,94%) chiếm tỷ lệ cao nhất, phản ánh sự phân bố trượt lở rộng trên diện tích lớn. Một số phân vị khác như Đệ Tứ (10,07%), Phia Bioc (9,35%) và Khao Lộc (7,91%) có mức độ trung bình, còn lại như Ngân Sơn, Pia Phương và Bồng Sơn chỉ chiếm dưới 5%. Đối với bản đồ địa chất tỷ lệ 1:50.000 trên hình 4 cho thấy hệ tầng Phú Ngữ có tần suất sụt trượt cao nhất (4,174) tiếp theo là Pia Phương (3,104), Pleistocen (2,623) và phức hệ Ngân Sơn (2,765), phản ánh mức độ tập trung điểm trượt cao trong phạm vi hẹp. Tuy nhiên, về tỷ lệ sụt trượt, hệ tầng Hà Giang lại chiếm ưu thế tuyệt đối với 38,85%, vượt xa các phân vị khác như Pia Phương (17,99%) và Phú Ngữ (10,07%). Một số phân vị có tần suất tương đối như Phia Bioc (0,967) hay Holocen (0,447) nhưng tỷ lệ sụt trượt rất thấp (chỉ 2,88% và 5,04%), cho thấy sụt trượt mang tính cục bộ.

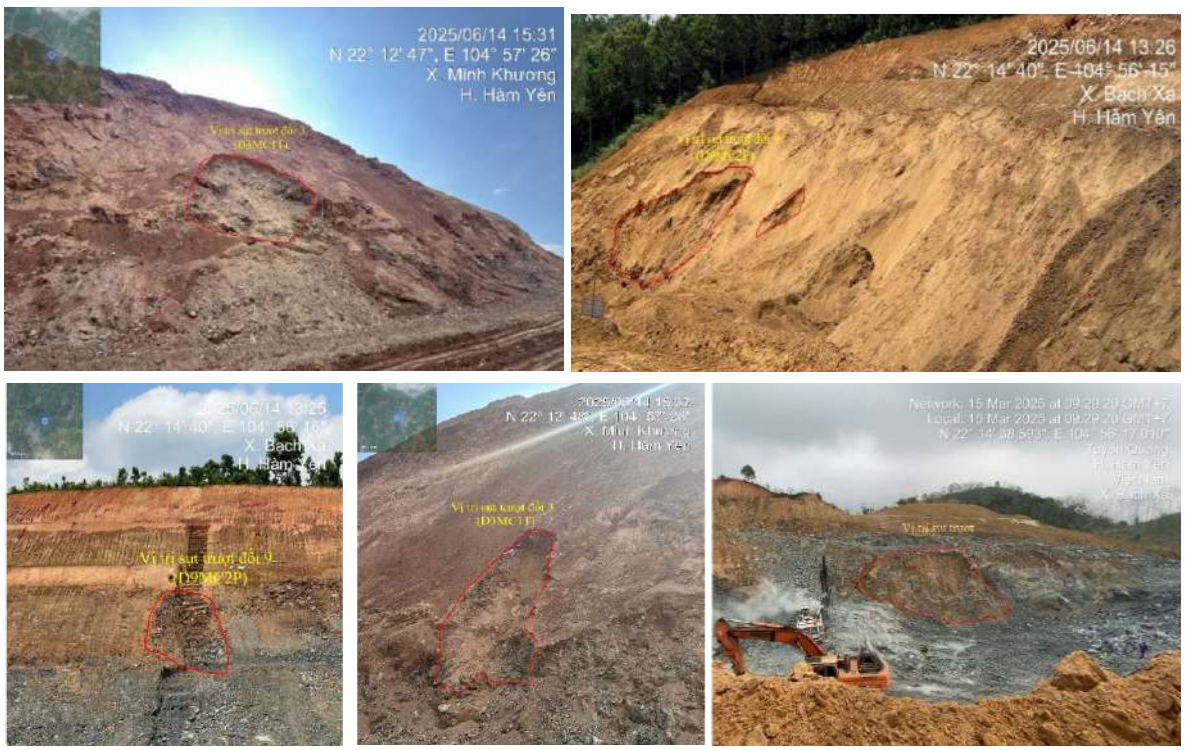


Hình 3. Mối quan hệ giữa các hệ tầng địa chất với tần suất tần suất và phần trăm sụt trượt trên bản đồ tỷ lệ 1/200.000



Hình 4. Mối quan hệ giữa các hệ tầng địa chất với tần suất tần suất và phần trăm sụt trượt trên bản đồ tỷ lệ 1/50.000

Kiểm chứng thực tế hiện trường tại khu vực xây dựng tuyến nghiên cứu điển hình cho thấy, dù đang trong quá trình thi công, chưa hoàn thiện đào nền đường cũng như chưa chịu tác động bởi các yếu tố bất lợi khác nhưng đã xuất hiện một số điểm sụt trượt qui mô nhỏ, chủ yếu tập trung tại các đoạn nền đường đào sâu đi qua các phân vị địa chất có điều kiện bất lợi, điển hình tại các vị trí Km 68+028; Km 72+027; Km 72+691 trên tuyến đường Tuyên Quang - Hà Giang. Đáng lưu ý, phần lớn các điểm trượt phát sinh này trùng khớp với những khu vực đã nhận diện trên bản đồ địa chất tỷ lệ 1:50.000 - phạm vi dự báo có nguy cơ sụt trượt cao, đặc biệt là hệ tầng Hà Giang có phần trăm sụt trượt cao nhất (38,85%) và số điểm trượt lớn nhất trong phân tích.



Hình 5. Vị trí sụt trượt trong quá trình xây dựng tuyến đường cao tốc Tuyên Quang - Hà Giang

Mặc dù yếu tố địa chất chỉ là một trong nhiều yếu tố cần được xem xét khi lựa chọn hướng tuyến (bên cạnh địa hình, thủy văn, địa chất thủy văn, hoạt động kinh tế - kỹ thuật…), kết quả phân tích cho thấy yếu tố địa chất có ảnh hưởng trực tiếp và quan trọng đến mức độ ổn định của ta luy nền đường đào. Trong số này, tỷ lệ bản đồ địa chất sử dụng trong giai đoạn nghiên cứu và thiết kế bước đầu có khả năng nhận diện các phân vị địa chất bất lợi với sụt trượt [8]. Bản đồ địa chất tỷ lệ

lớn với độ chi tiết cao cho phép thể hiện ranh giới, quy mô, và đặc điểm của các hệ tầng địa chất yếu, vị trí đứt gãy kiến tạo, hoặc vùng có lịch sử sụt trượt [11]. Nhờ đó, đơn vị thiết kế có thể chủ động hơn trong việc lựa chọn phương án tuyến hợp lý, hạn chế tối đa việc bố trí tuyến đi qua các khu vực có điều kiện địa chất bất lợi.

Trong những trường hợp không thể tránh khỏi và tuyến buộc phải đi qua các vùng có nguy cơ mất ổn định, việc sử dụng bản đồ địa chất tỷ lệ lớn giúp nhận diện sớm các rủi ro, từ đó cho phép đề xuất các giải pháp khảo sát địa hình cũng như địa kỹ thuật chuyên sâu và xây dựng các biện pháp gia cố phù hợp ngay từ bước thiết kế ban đầu. Điều này không chỉ góp phần đảm bảo an toàn cho công trình trong giai đoạn thi công và khai thác, mà còn giúp tối ưu hóa chi phí xây dựng, hiệu quả đầu tư và công tác duy tu bảo trì trong dài hạn.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy, tỷ lệ bản đồ địa chất có ảnh hưởng đến khả năng nhận diện các yếu tố bất lợi trong quá trình lựa chọn hướng tuyến, đặc biệt tại các khu vực địa hình chia cắt phức tạp như miền núi.

Việc đánh giá giữa hai tỷ lệ bản đồ địa chất 1:200000 và 1:50000 cho thấy, bản đồ tỷ lệ lớn cung cấp mức độ chi tiết cao hơn, cho phép xác định các phân vị địa chất có nguy cơ sụt trượt cao.

Các phân tích định lượng về tần suất và phần trăm sụt trượt, kết hợp với kiểm chứng thực địa cho thấy, giá trị ứng dụng thực tiễn của bản đồ địa chất trong giai đoạn định hướng giúp đơn vị thiết kế có thể chủ động tránh bố trí tuyến đi qua những hệ tầng bất lợi, hoặc nếu bắt buộc đi qua, thì tập trung triển khai các giải pháp khảo sát và thiết kế biện pháp gia cố phù hợp ngay từ đầu.

Tài liệu tham khảo

Bộ Giao thông vận tải (2012), TCVN 5729:2012. *Đường ô tô cao tốc − Yêu cầu thiết kế.*

Bộ Giao thông vận tải (2005), TCVN 4054:2005. *Đường ô tô - Yêu cầu thiết kế.*

Bộ Giao thông vận tải (2020), TCCS 31:2020/TCĐBVN Đường ô tô. *Tiêu chuẩn khảo sát.*

Trần Đồng, Nguyễn Thu Huyền, *Sạt lở đất đá tại mái dốc-Sự ổn định và chống xói mòn trong một giải pháp.*

Nguyễn Thị Hòa, Trịnh Thành, Nguyễn Phương, Nguyễn Quốc Phi (2017), *Nguy cơ tai biến trượt lở liên quan hoạt động khai thác khoáng sản tại khu vực Tương Dương, Nghệ An*, Tạp chí Địa chất, (363-364).

(2018), Hội nghị khoa học toàn quốc Khoa học trái đất và Tài nguyên với phát triển bền vững.

Wu, J.-S., Shu, C.-R., Shao, B.-H., Lo, N.-C., Huang, K.-Y. (2022). In Data quality assessment of mobile positioning and the major impact on location intelligence. *IGARSS 2022-2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, IEEE: pp 4003-4006.

Le, T.T.T., Hoang, V.H., Van, T.B., Bui, T.K.T., Nguyen, H.P. (2021), *Developing a landslide susceptibility map using the analytic hierarchical process in Ta Van and Hau Thao Communes, Sapa, Vietnam*, Journal of Disaster Research, 16(4), 529-538.

Nguyễn Đức Đảm, Nguyễn Thanh Tuấn, Trần Văn Phong, Phạm Thái Bình (2022), *Phát triển mô hình học máy cây quyết định và cây quyết đinh xen kẽ thành lập bản đồ dự báo không gian sạt lở đất tại huyện Mường Nhé, tỉnh Điện Biên, Việt Nam*, Tạp chí điện tử Khoa học và Công nghệ Giao thông, 36-56.

Nguyen, D.D., Nguyen, M.D., Nguyen, T.V., Cao, C.T., Van Phong, T., Duc, D.M., Bien, T.X., Prakash, I., Van Le, H., Pham, B.T. (2025), *Enhanced Landslide Spatial Prediction Using Hybrid Deep Learning Model and SHAP Analysis: A Case Study of the Tuyen Quang-Ha Giang Expressway, Vietnam*, Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 53(5), 1647-1666.

Hung, L.Q., Van, N.T.H., Son, P.V., Ninh, N.H., Tam, N., Huyen, N.T. (2017). In Landslide inventory mapping in the fourteen northern provinces of Vietnam: achievements and difficulties. *Workshop on World Landslide Forum*, Springer: pp 501-510.

Influence of Geological Map Scale on Highway Route Planning: Case Study of the Tuyen Quang - Ha Giang Expressway Segment in Tuyen Quang Province

Nguyen Duc Dam[1], Pham Thai Binh[1], Nguyen Duc Manh[2,*], Nguyen Cong Dinh[2]
[1]*University of Transport Technology*
[2]*University of Transport and Communincations*
**Corresponding author: Email: damnd@utt.edu.vn; nguyenducmanh@utc.edu.vn*

Abstract

In the design of road alignments in mountainous areas-particularly in regions with highly dissected terrain-selecting an appropriate route is a critical factor to ensure both structural stability and investment efficiency. This study evaluates the impact of geological map scale on identifying geohazards by comparing 1:50,000 and 1:200,000 scale geological maps along the Tuyen Quang - Ha Giang expressway corridor. Based on the collection of 139 landslide points from field surveys, the research analyzes the relationship between geological formations and landslide occurrence. The results indicate that large-scale maps provide more accurate identification of hazardous geological units and better reflect the spatial correlation between geological conditions and actual landslide events. Field validation further confirms that newly emerged landslides align with formations identified on the 1:50,000-scale map. Based on these findings, the study recommends the use of large-scale geological maps from the prefeasibility study stage to optimize route alignment and minimize geological risks in mountainous transport infrastructure projects.

Keywords: New construction route, landslides, geological maps, map scale, hilly and mountainous regions.

NGHIÊN CỨU SỨC CHỐNG CẮT ĐẤT SÉT LẪN SẠN TRÊN MẪU CHẾ BỊ CÓ KÍCH THƯỚC KHÁC NHAU BẰNG THIẾT BỊ CẮT PHẲNG

Cao Trọng Công[1,*], Nguyễn Đức Mạnh[2,*], Nguyễn Châu Lân[2], Phạm Thu Trang[2]

[1]Viện khoa học và Công nghệ Công trình thủy, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

[2]Trường Đại học Giao thông Vận tải

[*]Tác giả liên hệ: Email: Cong47xd@gmail.com, nguyenducmanh@utc.edu.vn

Tóm tắt

Đất sét lẫn sạn theo các định nghĩa chung là một loại hỗn hợp bao gồm chủ yếu các hạt sét thuần kết hợp với các hạt mịn, hạt cát, hạt sạn, hạt dăm có kích thước lớn và hình dạng khác nhau. Đặc trưng sức chống cắt của đất sét lẫn sạn được thể hiện thông qua các tham số lực dính đơn vị (c) và góc ma sát trong (φ).

Trên cơ sở nghiên cứu, đánh giá đặc điểm sức chống cắt của đất sét lẫn sạn được lấy tại khu vực nền đào Km21+500 thuộc dự án đường cao tốc Hòa Bình - Mộc Châu đang triển khai thi công xây dựng với mẫu đất được chế bị có kích thước khác nhau. Các thông số sức chống cắt (c, φ) được xác định bằng thí nghiệm cắt phẳng trên thiết bị cắt cho mẫu đất đường kính 62mm và đường kính 152mm. Thông qua việc phân tích, đánh giá sự khác biệt về giá trị sức chống cắt (τ_f) giữa mẫu thí nghiệm có kích thước khách nhau được chế bị cùng độ chặt và độ ẩm tương đương với trạng thái tự nhiên. Kết quả cho thấy mức độ ảnh hưởng kích thước mẫu thí nghiệm đến giá trị các thông số sức kháng cắt của đất loại sét lẫn dăm sạn trên mẫu chế bị rất đáng kể. Nghiên cứu này là tiền đề cho việc nghiên cứu sâu hơn về một phương pháp thí nghiệm cắt phẳng mới, với kích thước và tốc độ cắt phù hợp hơn cho mẫu đất chế bị từ đất loại sét lẫn sạn.

Từ khóa: Sức chống cắt, đất sét lẫn sạn, mẫu đất chế bị, thí nghiệm cắt phẳng

1. Đặt vấn đề

Đối với đất loại sét lẫn dăm sạn nói chung, lẫn sạn nói riêng việc lấy mẫu nguyên trạng để thực hiện thí nghiệm cắt phẳng hiện nay vẫn là một khó khăn lớn. Vì vậy các thông số đặc trưng cơ bản là lực dính đơn vị (c), góc ma sát trong(φ) của loại đất này thông thường được xác định thông qua thí nghiệm cắt phẳng trên mẫu chế bị. Nghiên cứu độc lập của Po-Kai Wu (2008), Amy B. Cerato (2006) và Reza Ziaie Moayed (2016) trên các mẫu đất cát và cát pha đều chỉ ra "Ảnh hưởng của kích thước mẫu và một số yếu tố khác đến cường độ và biến dạng của đất hạt trong thí nghiệm cắt trực tiếp". Tuy nhiên, mức độ thay đổi phụ thuộc vào tỷ lệ hạt thô, độ chặt, độ ẩm, và hình dạng các loại hạt.

Nghiên cứu này được thực hiện cho một loại đất sét lẫn sạn của khu vực xây dựng tuyến đường cao tốc Hòa Bình - Mộc Châu đang thi công, tại khu vực nền đào sâu Km 21+500. Từ mẫu đất không nguyên trạng được lấy tại hiện trường, được chế bị tương đương ở trạng thái độ ẩm và độ chặt tự nhiên với hai loại mẫu có đường kính D=62mm và D=152mm, sau đó thực hiện thí nghiệm cắt trên thiết bị cắt phẳng trong phòng, để từ đó đánh giá mức độ ảnh hưởng của kích thước mẫu chế bị đến khả năng chống cắt của đất. Kết quả từ nghiên cứu này bước đầu có thể sử dụng làm cơ sở hiệu chỉnh giá trị tốc độ cắt khi xác định thông số sức chống cắt của đất loại sét lẫn dăm sạn được xác định thông qua thí nghiệm cắt phẳng mẫu chế bị.

2. Sức chống cắt của đất sét lẫn sạn và phương pháp xác định

Các phương pháp xác định sức chống cắt của đất loại sét lẫn sạn thông thường hiện nay là: Với đất ít sạn có thể được thí nghiệm trong phòng thực hiện trên thiết bị cắt phẳng với mẫu đường kính lớn ở trạng thái nguyên trạng, hoặc chế bị, hay phổ thông nhất là mẫu chế bị đường kính nhỏ sau khi loại một phần hạt sạn quá cỡ. Với mẫu đất có hàm lượng hạt sạn cao và nhiều hạt quá cỡ thì có thể thực hiện ngoài hiện trường cho mẫu lớn bằng thí nghiệm đầy trụ hiện trường.

2.1 Các thí nghiệm trong phòng trên thiết bị cắt phẳng

Tham số cường độ lực dính đơn vị (c) và góc ma sát trong (φ) của sức chống cắt phổ biến được xác định theo các tiêu chuẩn của Việt Nam (TCVN), Anh Quốc (BS), Hoa Kỳ (ASTM) hay của Nhật Bản (JGS) JGS 0560-2020 dựa trên ứng suất pháp và lực cắt ngang mẫu đất có dạng hình trụ tròn đường kính 60mm ÷ 100mm, chiều cao 20mm ÷ 25mm theo TCVN 4199:1995; D3080; JGS 0561-2020 hay JGS 0560-2020; hoặc có thể là mẫu đất dạng hình vuông, hình chữ nhật kích thước các cạnh 60mmx60mm ÷ 100mmx100mm chiều cao 20mm ÷ 25mm theo BS 1377-7:1990. Trong trường hợp không lấy được mẫu nguyên trạng thì có thể chế bị lại mẫu lớn để thực hiện các thí nghiệm theo hướng dẫn của các tiêu chuẩn D3080; JTG3430-2020 với mẫu có hình trụ đường kính D=500mm chiều cao mẫu H=310mm như thiết bị cắt được chế tạo tại Đại học công nghệ Bialystok, Cộng hòa Ba Lan; đường kính D=300mm, chiều cao H=200mm với thiết bị của Công ty Cổ phần Tư vấn thiết kế điện 1 (PECC1), quy trình thí nghiệm tham khảo theo tiêu chuẩn SNIP01-73, hoặc hình vuông có kích thước phụ thuộc vào đường kính lớn nhất của hạt hoặc theo tiêu chuẩn BS 1377-7:1990 với mẫu hình vuông kích thước cạnh 305mm, chiều cao 150mm; kích thước vuông 200x200x100mm của Viện công nghệ Giao thông vận tải (ITST).

2.2 Thí nghiệm cắt phẳng tại hiện trường

Thí nghiệm cắt phẳng ngoài hiện trường cho phép xác định sức chống cắt trực tiếp mẫu đất loại sét lẫn dăm sạn nguyên trạng ngoài hiện trường. Thí nghiệm này có thể thực hiện theo phương pháp đẩy trụ đất trong hố đào tại hiện trường với các trụ đất tiết diện vuông hoặc tròn với kích thước cạnh (đường kính) lớn, có thể lên tới 500mm chiều cao mẫu là 250mm; hoặc có thể sử dụng thí nghiệm cắt phẳng tại hiện trường bằng thiết bị cầm tay với mẫu vuông kích thước cạnh tối đa là 200mm chiều cao là 100mm, thí nghiệm được thực hiện theo hướng dẫn tại tiêu chuẩn TCCS 2302:2023.

3. Thí nghiệm cắt phẳng mẫu đất sét lẫn sạn chế bị kích thước khác nhau

3.1 Chế bị mẫu thí nghiệm

Sau khi lựa chọn được vị trí lấy mẫu, tiến hành lấy mẫu đất sét lẫn sạn không nguyên dạng (lấy mẫu đất phá hủy). Quy trình lấy mẫu, bảo quản và vận chuyển mẫu về phòng thí nghiệm tuân thủ theo hướng dẫn của tiêu chuẩn TCVN 2683:2012, đồng thời đảm bảo một số yêu cầu: Mẫu đất được lấy trong hố đào ở độ sâu từ 1,5÷1,7m so với mặt đất tự nhiên; tổng số khối lượng đất tối thiểu là 250kg.

Mẫu đất được vận chuyển về phòng thí nghiệm, tiếp đó được chế bị theo hướng dẫn tại tiêu chuẩn TCVN 12790-2020 các yêu cầu phục vụ thí nghiệm như sau:

- Loại bỏ toàn bộ các hạt sạn có kích thước >5mm.
- Độ ẩm và độ chặt yêu cầu đạt tương đương với trạng thái tự nhiên ban đầu của mẫu đất, được đánh giá thông qua khối lượng thể tích đất.
- Số lượng mẫu chế bị: 03 tổ tương ứng 09 mẫu đường kính D62mm; 03 tổ với 09 mẫu đường kính 152mm.
- Các đặc trưng cơ lý chính của mẫu đất trước và sau chế bị được liệt kê trong Bảng 1.

Bảng 1. *Một số chỉ tiêu cơ lý của mẫu đất tại hiện trường và mẫu đất chế bị*

Chỉ tiêu cơ lý	Đơn vị	Mẫu đất tại hiện trường	Mẫu đất chế bị
Độ ẩm, W	%	27,3	27,3
Khối lượng thể tích tự nhiên, ρ	g/cm³	2,02	2,02
Khối lượng thể tích khô, ρ_d	g/cm³	1,41	1,41
Khối lượng riêng, ρ_s	g/cm³	2,69	2,69
Giới hạn chảy, W_L	%	36,37	36,42
Giới hạn dẻo, W_p	%	24,85	24,63
Chỉ số dẻo, I_p	%	11,52	11,79
Độ sệt, I_L	-	0,787	0,773

3.2 Thí nghiệm trên mẫu đường kính nhỏ

a) Phương pháp thí nghiệm

Phương pháp thí nghiệm xác định sức chống cắt được lựa chọn là "Phương pháp thí nghiệm cắt nhanh không cố kết, không thoát nước" được thực hiện trên thiết bị cắt phẳng loại ứng biến 2 tốc độ cắt là v = 0,8mm/min và v = 2,4mm/min (Hình 1), phù hợp tiêu chuẩn hiện hành. Yêu cầu, thông số kỹ thuật chính đối với phương pháp và thiết bị thí nghiệm bao gồm:

- Các thông số sức chống cắt lực dính đơn vị c (kPa) và góc ma sát trong φ (độ) được xác định thông qua xác định sức chống cắt với ứng suất tổng (τ_u) trong điều kiện không cố kết, không thoát nước; mẫu giữ nguyên trạng thái độ ẩm và thể tích; không có giai đoạn cố kết trước khi cắt; nước lỗ rỗng không được thoát trong suốt quá trình thí nghiệm.
- Trong quá trình thực hiện thí nghiệm cắt tải trọng đứng không được giữ lâu để hạn chế việc thay đổi thể tích mẫu đất trong quá trình cắt.
- Cấp tải trọng đứng được lựa chọn là 96,60kPa, 194,8kPa, 290,5kPa, phù hợp với loại đất sét và sét pha.
- Tốc độ cắt đảm bảo mẫu bị phá hoại trong khoảng thời gian 5-10 min tương đương với tốc độ cắt là v = 0,8mm/min.
- Hộp cắt tròn đường kính D = 62mm;
- Hệ số vòng ứng biến của thiết bị cắt Cr = 1,90 kPa.

Hình 1. Thiết bị cắt phẳng loại vòng ứng biến 2 tốc độ được sử dụng trong thí nghiệm

b) Kết quả thí nghiệm

Kết quả thí nghiệm xác định được các thông số sức chống cắt mẫu đường kính nhỏ được thể hiện trong Bảng 2 và biểu đồ Hình 2.

Bảng 2. *Tổng hợp kết quả thí nghiệm cắt phẳng mẫu chế bị D=62mm*

STT	Ứng suất pháp σ (kPa)	Ứng suất cắt τ_{max}(kPa)		Ghi chú
1	0		**26,585**	
2	96,6	**τ_{tb}**	**59,654**	Giá trị trung bình
		τ_1	62,154	
		τ_2	57,653	
		τ_2	59,155	
3	194,8	**τ_{tb}**	**87,803**	Giá trị trung bình
		τ_1	89,254	
		τ_2	81,352	
			92,803	
4	290,5	**τ_{tb}**	**123,331**	Giá trị trung bình
		τ_1	120,652	
		τ_2	124,010	
			125,331	

TT	Ứng suất pháp σ (kPa)	Ứng suất cắt τ_{max} (kPa)
1	0	26,586
2	96,6	59,654
3	194,8	87,803
4	290,5	123,331
Lực dính đơn vị c		= 26,585 kPa
Góc ma sát φ		= 18,42 độ

Hình 1. Kết quả thí nghiệm cắt phẳng mẫu chế bị đường kính D=62mm

3.3 Thí nghiệm trên mẫu đường kính lớn

a) Phương pháp thí nghiệm

Thí nghiệm xác định sức chống cắt được lựa chọn với mẫu đường kính D=152mm cũng là "Phương pháp thí nghiệm cắt nhanh không cố kết, không thoát nước" trên bộ thiết bị cắt phẳng tự nghiên cứu, thiết kế và chế tạo (bộ thiết bị cắt phẳng tự phát triển) và thực hiện thí nghiệm cắt với độ cắt là v=0,8mm/min. Các yêu cầu, thông số kỹ thuật chính đối với phương pháp và thiết bị thí nghiệm bao gồm:

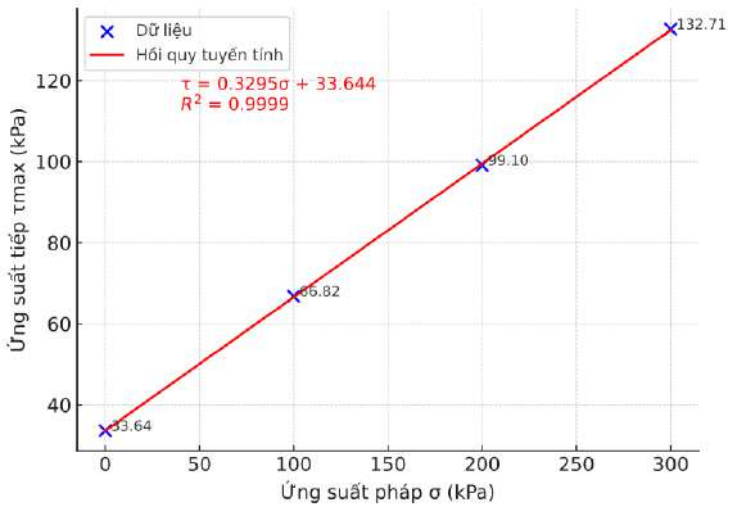
- Các thông số sức chống cắt lực dính đơn vị c (kPa) và góc ma sát trong φ (độ) được xác định thông qua xác định sức chống cắt ở ứng suất tổng (τ_u) trong điều kiện không cố kết, không thoát nước; mẫu giữ nguyên trạng thái độ ẩm và thể tích; không có giai đoạn cố kết trước khi cắt; nước lỗ rỗng không được thoát trong suốt quá trình thí nghiệm.
- Trong quá trình thực hiện thí nghiệm cắt tải trọng đứng không được giữ lâu để hạn chế việc thay đổi thể tích mẫu đất trong quá trình cắt.
- Cấp tải trọng đứng được lựa chọn là 96,60kPa, 194,8kPa, 290,5kPa (tương ứng thí nghiệm cho mẫu đường kính D=62mm).
- Tốc độ cắt được duy trì trong suốt quá trình cắt là v=0,8mm/min.
- Hộp cắt tròn đường kính D=152mm.

b) Kết quả thí nghiệm

Kết quả thí nghiệm xác định được các thông số sức chống cắt mẫu đất chế bị đường kính lớn D152mm được thể hiện trong Bảng 3 và biểu đồ Hình 3.

Bảng 1. *Tổng hợp kết quả thí nghiệm cắt phẳng mẫu chế bị D=152mm*

STT	Ứng suất pháp σ (kPa)	Ứng suất cắt τ_{max} (kPa)		Ghi chú
1	0		**33,643**	
2	96,6	τ_{tb}	**66,816**	Giá trị trung bình
		τ_1	62,154	
		τ_2	69,243	
		τ_3	69,050	
3	194,8	τ_{tb}	**99,097**	Giá trị trung bình
		τ_1	96,672	
		τ_2	100,211	
		τ_3	100,407	
4	290,5	τ_{tb}	**132,715**	Giá trị trung bình
		τ_1	129,684	
		τ_2	135,241	
		τ_3	133,220	



TT	Ứng suất pháp σ(kPa)	Ứng suất cắt τ_{max} (kPa)
1	0	33,643
2	96,6	66,816
3	194,8	99,097
4	290,5	132,715
Lực dính đơn vị c		= 33,643kPa
Góc ma sát φ		= 18,28 độ

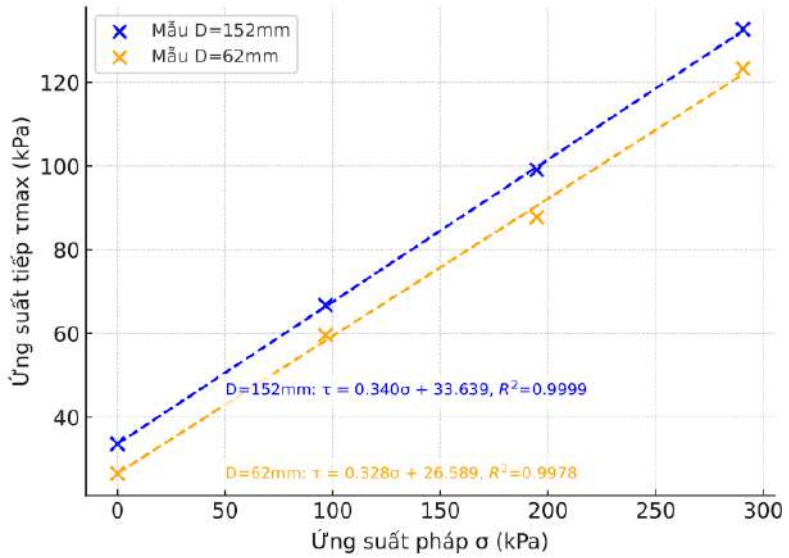
Hình 2. Kết quả thí nghiệm cắt phẳng mẫu chế bị đường kính D=152mm

4. Tổng hợp kết quả và nhận xét

Kết quả thí nghiệm cắt phẳng trên các mẫu đất loại sét lẫn sạn chế bị trong phòng với các đường kính D=62mm và D=152mm, được tổng hợp trên Bảng 4.

Bảng 4. *Tổng hợp kết quả thí nghiệm cắt phẳng mẫu chế bị D62mm và D152mm*

TT	Ứng suất pháp σ (kPa)	Ứng suất cắt τ_{max} (kPa)		Chênh lệch (kPa)
		D=152mm	D=62mm	
(1)	*(2)*	*(3)*	*(4)*	*(5)=(3)-(4)*
1	0	33,643	26,585	7,058
2	96,6	66,816	59,654	7,162
3	194,8	99,097	87,803	11,294
4	290,5	132,715	123,331	9,384



Hình 3. Biểu đồ so sánh sức chống cắt theo kích thước mẫu chế bị D62mm và D152mm

Kết quả thí nghiệm cắt phẳng trên mẫu đất sét lẫn sạn chế bị theo phương pháp cắt nhanh không cố kết, không thoát nước cho thấy, ở cùng một vận tốc cắt v = 0,8 mm/min giá trị sức chống cắt mẫu đất đường kính D=152mm lớn hơn mẫu đất có đường kính D=62mm. Sự chênh lệch có mức độ không lớn và gần như đều nhau khi áp lực thẳng đứng thay đổi từ 0 đến 96,6 kPa. Mức độ chênh lệch có xu hướng gia tăng khi áp lực của tải trọng đứng đạt tới giá trị 194,8kPa sau đó lại có sự giảm xuống khi áp lực thẳng đứng tiếp tục tăng lên. Sự chênh lệch sức chống cắt lớn nhất là 11,294 (kPa) tại giá trị áp lực thẳng đứng đạt 194,8kPa. Điều này liên quan trực tiếp tới ảnh hưởng kích thước hạt khi mặt phá hủy có diện tích khác nhau, phù hợp các nghiên cứu [12], [17], [18], [19].

5. Kết luận

Đất loại sét lẫn sạn là đối tượng mà thành phần gồm nhiều loại hạt kích thước khác nhau, bất đồng nhất về tính chất vật lý, cũng như hình dáng hạt thô, nên sức chống cắt của loại đất này có sự thay đổi rất lớn về giá trị.

Trong nghiên cứu này, khi xác định sức chống cắt mẫu đất chế bị đường kính khác nhau cho thấy đối với mẫu đất sét lẫn sạn sức chống cắt được xác định trên mẫu đất theo phương pháp cắt nhanh không cố kết, không thoát nước, ở cùng một vận tốc cắt, có xu hướng gia tăng khi thí nghiệm với mẫu đường kính lớn. Điều này càng cho thấy, việc xác định các đặc trưng sức chống cắt trên mẫu đường kính nhỏ như hiện nay cần thận trọng khi sử dụng để tính toán ổn định nền đường đào qua vùng đồi núi. Chính vì vậy cần thiết phải có những nghiên cứu sâu hơn về sức chống cắt của loại đất sét lẫn dăm sạn để có thể làm gia tăng độ tin cậy của thông số sức chống cắt khi sử dụng trong tính toán thiết kế.

Tài liệu tham khảo

Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN12970: 2020, "Đất, đá dăm dùng trong công trình giao thông - Đầm nén Proctor".

Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 4199:1995, "Đất xây dựng - phương pháp xác định sức chống cắt trong phòng thí nghiệm ở máy cắt phẳng".

Ban LDA ĐTXD các công trình giao thông tỉnh Hòa Bình (2024), "Hồ sơ Báo cáo khảo sát địa chất công trình các gói thầu Dự án Cao tốc Hòa Bình - Mộc Châu (giai đoạn 1) đoạn qua tỉnh Hòa Bình".

Nguyễn Thị Ngọc Hương và Trịnh Minh Thụ, 2013. Xác định cường độ chống cắt của đất không bão hòa bằng thí nghiệm cắt trực tiếp. Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và môi trường. Số 42 tháng 09/2013.

Nguyễn Đức Mạnh, 2015. Nghiên cứu tương quan về sức chống cắt không thoát nước của một số đất loại sét yếu ở Hà Nội và vùng phụ cận từ thí nghiệm cắt cánh hiện trường với cắt cánh trong phòng. Số đặc biệt Tạp chí khoa học GTVT - Trường ĐH GTVT. Hà Nội, 11-2015.

Phạm Thu Trang và Nguyễn Đức Mạnh, 2022. Đặc điểm sức chống cắt của đất loại sét lẫn sạn khu vực Quảng Ninh xác định trên mẫu chế bị. Tạp chí Địa kỹ thuật, số 1/2023.

C. Taiba and Y. Mahmoudi et al., 2018. Experimental Investigation into the Influence of Roundness and Sphericity on the Undrained Shear Response of Silty Sand Soils. Geotechnical Testing Journal. DOI: 10.1520/GTJ20170118.

A.Kopf, M. B. Clennell, and R .Flecker, 1998. Relationship between the variation of undrained shear strength, organic carbon content, and the origin and frequency of enigmatic normal faults in fine-grained sediments from advanced piston cores from the eastern Mediterranean. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, Vol. 160, PP 645-661.

B.M. Das, K. Sobhan, 2013. Principles of Geotechnical Engineering. Cengage Learning.H. Zhang, Y. Luo, S.Yuan, Y. Zhou, Q. Zhou, F. Zeng and W. Feng, 2022. Shear Characteristics of Gravel Soil WithDifferent Fillers. Frontiers in Materials. Volume 9, https://doi.org/ 10.3389/fmats.2022.962372

L. Wang, J. Han, X. Yin and S. Liu, 2020. Effect of moisture content and shearing speed on shear zone structure in fine-grained soils at large displacement. Arabian Journal of Geosciences, Volume 13, Article number: 247 (2020

M. Jonsson, C. Sellin, 2012. Correction of shear strength in cohesive soil. Master of Science Thesis in the Master's Programme Geo and Water Engineering. Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.

Q.H. Xue and M.T.Chen, 2018. A systematic method to evaluate the shear properties of soil rock mixture considering the rock size effect, Advances in civil Engineering, vol 2018.

S. J. Hong, M. J. Lee, J. J. Kim and W. J. Lee, 2009. Evaluation of undrained shear strength of Busan clay using CPT. Korea University, Seoul, Korea.

S.G. Chung, Y.P. Hong, J.M. Lee, and S.C. Min, 2012. Evaluation of the Undrained Shear Strength of Busan Clay. KSCE Journal of Civil Engineering. 16(5):733-741, DOI 10.1007/s12205-012-1583-8.

S. K. Vanapalli and D.G. Fredlund, 1997. Interpretation of undrained shear strength of unsaturated soils in terms of stress state variables. Department of Civil Engineering University of Saskatchewan, Saskatoon Canada.

T. Kamei, K. Iwasaki, 1995. Evaluation of undrained shear strength of cohensive soils using a flat dilatometer soils and foundations. Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol. 35, No.2.

T.W. Parka, H.J. Kim, et al., 2017. Influence of coarse particles on the physical properties and quick undrained shear strength of fine-grained soils. Geomechanics and Engineering, Vol. 14, No. 1 (2018) 99-105. DOI: https://doi.org/10.12989/gae.2018.14.1.099.

X. S. Shi, Kai Liu, and J. Yin, 2021. Effect of Initial Density, Particle Shape, and Confining Stress on the Critical State Behavior of Weathered Gap-Graded Granular Soils. J. Geotech. Geoenviron. Eng., 2021, 147(2). DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943- 5606.0002449.

Y.X.Zhao and Z.X.Liu, 2018. "Study of material ompossition effect on the mechanical properties of soil - rock mixture", Advances in civil Engineering, vol 2018.

Z.T Rémai, 2013. Correlation of undrained shear strength and CPT resistance. Budapest University.

Study on the shear strength of remolded clay with gravel using direct shear test apparatus with different sample sizes

Cao Trong Cong[1], Nguyen Duc Manh[2], Nguyen Chau Lan[2], Pham Thu Trang[2]
[1]*Institute of Hydraulic Construction Science and Technology, Hanoi University of Civil Engineering*
[2]*University of Transport and Communications*
Corresponding Author: Email: Cong47xd@gmail.com, nguyenducmanh@utc.edu.vn

Abstract

Clay with gravel, according to general definitions, is a heterogeneous mixture mainly composed of pure clay particles combined with fine grains, sand, gravel, and coarse fragments of varying sizes and shapes.

The shear strength characteristics of clay with gravel are represented by the parameters of cohesion (c) and internal friction angle (ϕ).

Based on the study and evaluation of the shear strength characteristics of clay with gravel collected from the excavation foundation area at Km21+500 of the Hoa Binh - Moc Chau Expressway Project, which is under construction, soil samples with different sizes were remolded and tested.

The shear strength parameters (c, ϕ) were determined by direct shear tests using apparatuses with sample diameters of 62 mm and 152 mm.

By analyzing and evaluating the differences in the ultimate shear strength (τf) between the test samples of different sizes-remolded under the same density and moisture content equivalent to their natural state-the results show that the sample size has a significant influence on the shear strength parameters of clay with gravel.

This study provides a basis for further research on developing an improved direct shear test method with more appropriate specimen dimensions and shearing rates for remolded clay-gravel mixtures.

Keywords: Shear strength, clay with gravel, remolded soil sample, direct shear test.

XÂY DỰNG MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM TRONG PHÒNG KHẢO SÁT SỰ LÀM VIỆC CỦA NHÓM TRỤ VẬT LIỆU HẠT RỜI KẾT HỢP VỚI LƯỚI ĐỊA KỸ THUẬT TRONG XỬ LÝ NỀN ĐẤT YẾU

Nguyễn Hải Hà[1,*], Nguyễn Đức Mạnh[1,*], Nguyễn Thái Linh[1], Lê Thị Hồng Vân[1]

[1]Trường Đại học Giao thông vận tải

**Tác giả liên hệ: Email: haihadkt@utc.edu.vn; nguyenducmanh@utc.edu.vn*

Tóm tắt

Bài báo trình bày kết quả xây dựng mô hình thực nghiệm trong phòng nhằm khảo sát ứng xử nhóm trụ vật liệu hạt rời (VLHR) kết hợp với lưới Địa kỹ thuật (ĐKT) để gia cố nền đất yếu dưới khối đắp. Trên cơ sở lý thuyết về đồng dạng mô hình và phân tích thứ nguyên, mô hình vật lý tỷ lệ 1/20 đã được lựa chọn, thiết kế và chế tạo để mô phỏng hệ thống gia cố nền đất yếu bằng trụ VLHR kết hợp với lưới ĐKT. Quá trình xây dựng mô hình được kiểm soát chặt chẽ, từ việc chuẩn bị vật liệu, chuẩn bị mẫu và cố kết trước đất yếu trong mô hình, thi công các trụ VLHR, lắp đặt hệ thống gia tải và đo lường hiện đại.

Nghiên cứu tập trung vào việc khảo sát định lượng quy luật ứng xử của hệ VLHR kết hợp với lưới ĐKT dưới tác dụng của tải trọng tĩnh. Các kết quả đo đạc chính bao gồm sự phân bố lại ứng suất trên đỉnh trụ VLHR và đất nền giữa các trụ, độ lún tổng thể và lực căng huy động trong lưới ĐKT. Các thí nghiệm được tiến hành với các kịch bản khác nhau về khoảng cách giữa các trụ (tỷ số s/D) nhằm đánh giá ảnh hưởng của tham số hình học này đến hiệu quả của giải pháp.

***Từ khóa**:* Trụ vật liệu hạt rời (VLHR), lưới Địa kỹ thuật (ĐKT), đất yếu, mô hình vật lý.

1. Đặt vấn đề

Việt Nam được biết đến với điều kiện địa chất đa dạng và phức tạp, có sự phân bố rộng rãi của các tầng đất yếu, đặt ra những thách thức đáng kể trong lĩnh vực xây dựng công trình, đặc biệt là hạ tầng giao thông. Nền đất yếu, với đặc trưng là khả năng chịu tải thấp và tính nén lún cao, yêu cầu phải áp dụng các giải pháp xử lý, cải tạo hay gia cố nền khi xây dựng nhằm đảm bảo an toàn và ổn định lâu dài cho công trình. Một trong số giải pháp gia cố nền đất yếu dưới sâu hiện hành, sử dụng trụ vật liệu hạt rời (VLHR), hay còn gọi là trụ đá, ngày càng được ứng dụng rộng rãi bởi những ưu điểm về kỹ thuật và tính kinh tế của nó. Giải pháp này không chỉ gia tăng khả năng chịu tải, giảm độ lún của nền đất yếu mà còn có vai trò như các lõi thoát nước thẳng đứng, giúp đẩy nhanh quá trình cố kết của nền đất yếu. Dù được áp dụng khá phổ biến nhưng các công trình nghiên cứu chuyên sâu về ứng xử của trụ VLHR tại Việt Nam vẫn còn hạn chế, đặc biệt là các nghiên cứu thực nghiệm trong phòng hoặc tại hiện trường nhằm đánh giá một cách định lượng đầy đủ của giải pháp này trong điều kiện địa chất và vật liệu đặc thù của Việt Nam.

Để từng bước bổ sung cơ sở khoa học, góp phần mở rộng việc sử dụng giải pháp, phương pháp mô hình vật lý được nghiên cứu sử dụng, cho phép tái lập các quá trình và hiện tượng địa kỹ thuật trong điều kiện quy mô thu nhỏ và có kiểm soát, qua đó giúp kiểm chứng các giả thuyết lý thuyết và làm sáng tỏ các cơ chế làm việc phức tạp hệ VLHR kết hợp với lưới ĐKT. So với việc nghiên cứu thực nghiệm hiện trường tỷ lệ thực, thử nghiệm trên mô hình vật lý trong phòng có các ưu điểm riêng như khả năng kiểm soát chặt chẽ các điều kiện biên, chi phí thấp hơn, có thể tiến hành được nhiều kịch bản hay điều kiện khác nhau, linh hoạt và có tính khả thi cao hơn. Trong bối cảnh các nghiên cứu về trụ VLHR tại Việt Nam còn chưa đầy đủ, việc xây dựng một mô hình vật lý quy mô nhỏ trong phòng thí nghiệm được xem là một hướng đi cần thiết và phù hợp. Các kết quả thí nghiệm này sẽ cung cấp cơ sở khoa học và thực tiễn có độ tin cậy phù hợp, bổ sung cơ sở lý thuyết tính toán, hiệu chỉnh và đánh giá các kết quả phân tích số góp phần thúc đẩy việc ứng dụng hiệu quả giải pháp gia cố nền này tại Việt Nam.

2. Cơ sở lý thuyết lựa chọn và xây dựng mô hình thực nghiệm

2.1 Đặc điểm của mô hình thực nghiệm

Mô hình vật lý trong nghiên cứu Địa kỹ thuật là một phương pháp quan trọng và lâu đời, cho phép làm sáng tỏ các quá trình hay hiện tượng phức tạp xảy ra trong đất đá khi chịu tác động của tải trọng và các điều kiện môi trường khác nhau. Về bản chất, mô hình vật lý là tái tạo các quá trình hoặc hiện tượng tự nhiên trên một quy mô nhỏ hơn so với nguyên mẫu thực tế, từ đó có thể mô phỏng và dự đoán ứng xử của công trình trong thực tế một cách an toàn và hiệu quả.

Trong lĩnh vực Địa kỹ thuật, các thử nghiệm mô hình vật lý có thể được phân thành ba loại chính: mô hình quy mô nhỏ trong phòng thí nghiệm (mô hình trọng lực đơn 1g, mô hình ly tâm); mô hình quy mô lớn; và mô hình quy mô đầy đủ (thử nghiệm hiện trường). So với thử nghiệm hiện trường vốn tốn kém và khó kiểm soát, mô hình vật lý trong phòng thí nghiệm có nhiều ưu điểm vượt trội như chi phí thấp hơn, làm được nhiều kịch bản, dễ vận hành hơn và đặc biệt là khả năng kiểm soát chặt chẽ các điều kiện biên.

Các dạng mô hình vật lý phổ biến nhất trong phòng thí nghiệm là mô hình trọng lực đơn (1g) và mô hình ly tâm.

• Mô hình ly tâm có ưu điểm vượt trội là khả năng mô phỏng áp lực địa tầng thay đổi tuyến tính theo độ sâu thông qua việc tạo ra gia tốc ly tâm lớn hơn gia tốc trọng trường. Tuy nhiên, phương pháp này cũng có hạn chế trong việc mô phỏng một số đặc tính cơ bản của đất như lực dính đơn vị và góc ma sát trong của vật liệu đất.

• Mô hình trọng lực đơn, mặc dù chỉ có thể mô phỏng áp lực địa tầng ở một độ sâu giới hạn, vẫn là một công cụ hữu ích và được sử dụng rộng rãi. Mô hình 1g có ba đặc điểm chính: (1) cung cấp kết quả đáng tin cậy để hỗ trợ các mô hình số với điều kiện biên được kiểm soát chặt chẽ; (2) kích thước mô hình càng lớn, độ tương đồng với nguyên mẫu càng cao nhưng chi phí và độ phức tạp cũng tăng theo; và (3) khó tuân thủ đầy đủ các quy luật tỷ lệ.

Thực nghiệm mô hình vật lý đóng vai trò như một mắt xích quan trọng, kết nối giữa nghiên cứu hành vi cơ bản của đất và các ứng dụng thực tế. Nó giúp kiểm tra các giả thuyết lý thuyết, cung cấp dữ liệu thực chứng để hiệu chỉnh và kiểm chứng các mô hình số, từ đó cải thiện độ chính xác và tin cậy cho tính toán thiết kế các bài toán địa kỹ thuật hay nền móng trong xây dựng.

2.2 Nguyên tắc thiết kế mô hình vật lý

Để đảm bảo tính đại diện của kết quả từ mô hình vật lý thu nhỏ so với ứng xử của công trình nguyên mẫu, tỷ lệ thực; việc thiết lập và tuân thủ các nguyên tắc đồng dạng là một yêu cầu cơ bản. Theo lý thuyết đồng dạng, hai hệ thống (mô hình và nguyên mẫu) được coi là tương tự khi chúng thỏa mãn đồng thời các điều kiện về đồng dạng hình học, động học và động lực học.

2.2.1 Các yêu cầu về tương tự mô hình và các quy luật tỷ lệ

Trong nghiên cứu mô hình hóa vật lý, sự đồng dạng không chỉ giới hạn ở khía cạnh hình học mà còn phải đảm bảo sự tương tự về các đại lượng vật lý khác như thời gian, chuyển vị, ứng suất và lực. Mối quan hệ giữa một đại lượng của nguyên mẫu (q_p) và đại lượng tương ứng của mô hình (q_m) được xác định thông qua một hệ số tỷ lệ (λ_q), định nghĩa là:

$$\lambda_q = q_p/q_m. \quad (1)$$

Để đảm bảo tính tương tự, các yêu cầu cơ bản sau cần được thỏa mãn:

- Đồng dạng hình học: Tỷ số giữa các kích thước dài tương ứng của mô hình và nguyên mẫu là một hằng số. Hệ số tỷ lệ hình học này được ký hiệu là

$$n = L_m/L_p \quad (2)$$

  trong đó L_m và L_p lần lượt là kích thước của mô hình và nguyên mẫu.
- Đồng dạng động học: Đảm bảo sự tương tự về trường chuyển vị và biến dạng giữa mô hình

và nguyên mẫu tại các thời điểm tương ứng.

- Đồng dạng động lực học: Tỷ lệ của tất cả các lực tác động lên các phần tử tương ứng của mô hình và nguyên mẫu phải được bảo toàn.

Các quy luật tỷ lệ được thiết lập để liên kết các đại lượng vật lý giữa hai hệ thống. Đối với các thí nghiệm trọng lực thường (1-g), với tỷ lệ gia tốc $\lambda_g = 1$, các mối quan hệ tỷ lệ cơ bản được xác định dựa trên hệ số tỷ lệ hình học n và hệ số tỷ lệ ứng suất N. Theo đó, tỷ lệ của diện tích là n^2, thể tích là n^3, chuyển vị là n, và lực là $N \cdot n^2$.

2.2.2 Lựa chọn hệ số tỷ lệ mô hình

Việc lựa chọn hệ số tỷ lệ mô hình đóng vai trò quan trọng, ảnh hưởng trực tiếp đến độ chính xác của kết quả và tính khả thi của thí nghiệm hay kết quả khảo sát. Tỷ lệ quá nhỏ có thể gây ra các "hiệu ứng tỷ lệ" làm sai lệch kết quả đo do ảnh hưởng của ma sát thành và sự không tương thích giữa kích thước hạt vật liệu với kích thước hình học của cấu kiện.

Tổng hợp các nghiên cứu mô hình vật lý trong và ngoài nước về nền gia cố bằng cọc/trụ cho thấy, các hệ số tỷ lệ phổ biến dao động trong khoảng từ 1/10 đến 1/50. Cụ thể, nghiên cứu của Hughes và Withers (1974) sử dụng tỷ lệ 1/50 cho trụ cát đơn; trong khi Barksdale và Bachus (1983) chọn tỷ lệ 1/10 cho trụ đá. Tại Việt Nam, Bạch Vũ Hoàng Lan (2017), Nguyễn Thái Linh (2021) và Nguyễn Thị Dịu (2022) đều sử dụng tỷ lệ 1/25 cho các mô hình cọc/trụ chịu tải.

Trong nghiên cứu này, hệ số tỷ lệ hình học $n = 1/20$ được lựa chọn dựa trên sự cân bằng giữa các yếu tố về không gian phòng thí nghiệm, điều kiện kinh phí và việc giảm thiểu các hiệu ứng kích thước. Một yếu tố quan trọng cần xem xét là tỷ số giữa đường kính trụ trong mô hình (d_m) và đường kính hạt trung bình của vật liệu (D_{50}) hạt sử dụng chế bị trụ VLHR. Để đảm bảo vật liệu hạt có thể được mô hình hóa như một môi trường liên tục, tỷ số này cần đủ lớn. Với đường kính trụ trong mô hình được chọn là $d_m = 40$ mm và D_{50} của cốt liệu là 1.83 mm, tỷ số $d_m/D_{50} \approx 22$, nằm trong khoảng giá trị từ 20-30 được khuyến nghị bởi nhiều tác giả (Barksdale & Bachus, 1983).

Bảng 1. *Quan hệ tỷ lệ giữa mô hình thực và mô hình thu nhỏ*

Các đại lượng	Mô hình thực (Full scale)	Mô hình thu nhỏ trọng lực đơn 1g	Mô hình thu nhỏ trọng lực đơn tỷ lệ n = 1/20
Kích thước	1	n	1/20
Diện tích	1	n^2	$1/20^2$
Thể tích	1	n^3	$1/20^3$
Gia tốc	1	1	1
Ứng suất	1	N	1
Biến dạng	1	1	1
Chuyển vị	1	n	1/20
Lực	1	N. n^2	1.20^2
Hệ số rỗng	e_p	$e_m = e_p + \lambda \ln(N)$	e_p

Ghi chú: n - tỷ lệ hình dạng, N - tỷ lệ ứng suất, λ - góc dốc của đường hệ số rỗng theo cấp áp lực e - ln p.

Mô hình được thực hiện thí nghiệm trong điều kiện trọng lực thường (1-g), trong đó vật liệu và áp lực gia tải được giữ nguyên như nguyên mẫu. Điều này tương ứng với tỷ lệ ứng suất $N = 1$ và tỷ lệ gia tốc $I = 1$. Các quan hệ tỷ lệ giữa mô hình và nguyên mẫu được xác định như trong Bảng 1. Tính hợp lý của hệ số tỷ lệ này đã được kiểm chứng sơ bộ thông qua phân tích số, cho thấy sự tương đồng về quy luật ứng xử (phân bố lực, ứng suất, độ lún) giữa nguyên mẫu và mô hình thu nhỏ 1/20.

3. Xây dựng mô hình thực nghiệm trong phòng khảo sát sự làm việc của trụ vật liệu hạt rời kết hợp lưới Địa kỹ thuật để gia cố nền đất yếu

Qui trình xây dựng mô hình vật lý có ý nghĩa quan trọng, đòi hỏi sự kiểm soát chặt chẽ tất cả

các bước thực hiện nhằm đảm bảo tính đại diện và độ tin cậy của kết quả khảo sát. Quy trình này bao gồm việc chuẩn bị các thành phần vật lý của mô hình, hiệu chỉnh các thiết bị đo, lắp đặt hệ thống, và khảo sát đo đạc các tham số.

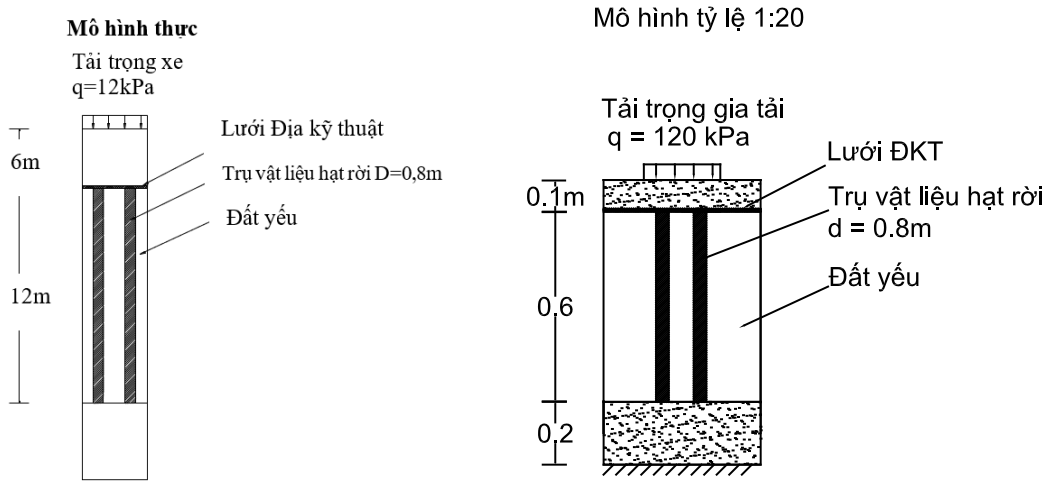
3.1 Chuẩn bị vật tư và thiết bị

Mô hình được xây dựng bao gồm các thành phần chính: hộp thí nghiệm, vật liệu (đất yếu, cốt liệu làm trụ VLHR, lưới địa kỹ thuật), hệ thống gia tải và hệ thống đo lường.

3.1.1 Hộp thí nghiệm và hệ thống gia tải

Để loại bỏ ảnh hưởng của biến dạng thành hộp đến kết quả khảo sát, một hộp thí nghiệm hình chữ nhật kích thước 1.000 mm x 500 mm x 1.000 mm đã được chế tạo. Khung hộp bằng thép dày 5 mm đảm bảo độ cứng tổng thể. Đặc biệt, hai mặt bên dài được làm bằng kính cường lực dày 20 mm, không chỉ cung cấp độ cứng mà còn cho phép quan sát trực tiếp sự biến dạng của nền đất và trụ VLHR suốt quá trình thí nghiệm. Đáy hộp được thiết kế có khoang thoát nước, cho phép mô phỏng điều kiện thoát nước hai chiều, tái hiện gần hơn với điều kiện hiện trường.

Nghiên cứu này sử dụng một hệ thống truyền động cơ học chính xác, được tích hợp vào một khung gia tải chuyên dụng bằng thép. Hệ thống này cho phép áp đặt tải trọng theo phương pháp nén với tốc độ chuyển vị không đổi (Constant Rate of Penetration - CRP) là 1.0 mm/phút, được thực hiện theo TCVN 9393:2012.



Hình 1. Tương quan giữa mô hình thực và mô hình thu nhỏ hệ nền - trụ VLHR - lưới ĐKT

Các thiết bị đo lường hiện đại của hãng Kyowa (Nhật Bản) có độ chính xác cao được sử dụng ghi nhận số liệu khảo sát. Bao gồm cảm biến chuyển vị (LVDT) để đo độ lún, lá đo biến dạng (strain gauge) dùng đo biến dạng của lưới và ứng suất đỉnh trụ, và bộ thu thập dữ liệu (Data Logger) để ghi nhận tín hiệu tự động và đồng bộ.

3.1.2 Vật liệu trong mô hình

Đất sử dụng nghiên cứu sét pha (sét bụi tính dẻo cao), được lấy ở độ sâu 3 m tại Thường Tín, Hà Nội, có trạng thái dẻo chảy (độ sệt I_L = 0.78).

Để đảm bảo sự đồng dạng, trụ VLHR sử dụng cát nghiền từ đá có cấp phối hạt được thu nhỏ theo tỷ lệ 1/20 từ giá trị cấp phối tiêu chuẩn (20-75) mm ngoài hiện trường, với hàm lượng hạt mịn (<0,075 mm) được khống chế dưới 5%.

Sử dụng lưới địa kỹ thuật một trục gốc vật liệu polyester (PET) có cường độ chịu kéo danh định 200 kN/m.

Các chỉ tiêu cơ bản của đất và vật liệu làm trụ sử dụng nghiên cứu được thể hiện ở bảng 2.

Bảng 2. *Một số chỉ tiêu cơ bản của vật liệu trong mô hình vật lý*

Đặc trưng đất nền	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị	Đặc trưng thành phần hạt vật liệu làm trụ	
Độ ẩm	W	%	46.7	Kích thước hạt (mm)	Tỷ lệ
Hàm lượng hạt sét	-	%	26.1		
Giới hạn chảy	W_L	%	50.1	0.5mm	5%
Giới hạn dẻo	W_P	%	35.4	1.18mm	21.6%
Độ sệt	I_L	-	0.78	2.36mm	52.1%
Trọng lượng thể tích	γ	kN/m^3	16.6	>4.75mm	100%
Trọng lượng riêng hạt	γ_h	kN/m^3	26.8		
Hệ số rỗng	e	-	1.313		

3.2 Hiệu chỉnh thiết bị và kiểm soát chất lượng mô hình

Để đảm bảo độ tin cậy của kết quả, các quy trình hiệu chỉnh và kiểm soát chất lượng mô hình được thực hiện theo các nội dung chính như:

• Hiệu chỉnh thiết bị đo: Mọi cảm biến, đặc biệt là đầu đo ứng suất đỉnh trụ, đều được hiệu chỉnh trong phòng thí nghiệm. Việc xây dựng đường cong hiệu chỉnh chuẩn giữa tải trọng và biến dạng (với hệ số tương quan $R^2 > 0.99$) là bước bắt buộc để chuyển đổi tín hiệu đo thành đại lượng vật lý một cách chính xác.

• Kiểm soát độ chặt của trụ VLHR: Đây là yếu tố quyết định đến độ tin cậy của mô hình. Khối lượng cốt liệu cho mỗi trụ được tính toán chính xác để đạt được độ chặt tương đối (I_D) từ 0.9 đến 1.0, mô phỏng trạng thái đầm chặt nhất của trụ đá thi công bằng phương pháp rung ngoài hiện trường.

3.3 Quy trình lắp đặt mô hình thí nghiệm

Quy trình lắp đặt được thực hiện tuần tự qua các bước sau, mỗi bước đều được kiểm tra cẩn thận:

1. Chuẩn bị và cố kết nền đất: Đất được đổ vào hộp thành từng lớp 20cm, san phẳng và đầm nhẹ. Sau đó, nền đất được cố kết sơ bộ trong 4 tuần để đạt trạng thái ổn định, loại bỏ các biến số không kiểm soát được liên quan đến sự lún cố kết trong quá trình gia tải chính.

2. Chế tạo trụ VLHR: Sử dụng ống PVC (đường kính trong 40mm) làm ống dẫn hướng để tạo lỗ. Đất bên trong được lấy ra bằng khoan tay chuyên dụng. Cốt liệu được đổ vào theo từng lớp nhỏ và đầm chặt bằng thanh thép để đạt độ chặt yêu cầu.

3. Lắp đặt hệ thống đo, lưới ĐKT và lớp đệm: Các thiết bị đo được bố trí tại các vị trí để ghi nhận bức tranh toàn diện về sự phân bố ứng suất và biến dạng trong hệ thống; lưới ĐKT được trải trên đỉnh các trụ; một lớp đệm cát được đầm chặt phía trên lưới; Chiều dày lớp đệm được tính toán và lựa chọn một cách khoa học dựa trên tiêu chuẩn BS 8006 để đảm bảo hiệu ứng vòm được phát triển đầy đủ; Một lớp đệm cát được đầm chặt phía trên lưới. Chiều dày lớp đệm được tính toán và lựa chọn một cách khoa học dựa trên tiêu chuẩn BS 8006 để đảm bảo hiệu ứng vòm được phát triển đầy đủ; sau cùng, hệ thống gia tải được lắp đặt hoàn chỉnh, sẵn sàng cho quá trình thí nghiệm.

Mô hình sau khi hoàn thiện được tiến hành gia tải với các kịch bản khác nhau về tỷ số khoảng cách trụ (s/D = 2.5, 3.0, và 3.5) để thu thập dữ liệu thực chứng, làm cơ sở cho các phân tích tiếp theo.

Hình 2. Bố trí lắp đặt mô hình vật lý nghiên cứu ứng xử hệ trụ VLHR kết hợp lưới ĐKT trong phòng thí nghiệm

4. Kết quả khảo sát và thảo luận

4.1 Độ lún và sự phân bố ứng suất trong mô hình thực nghiệm

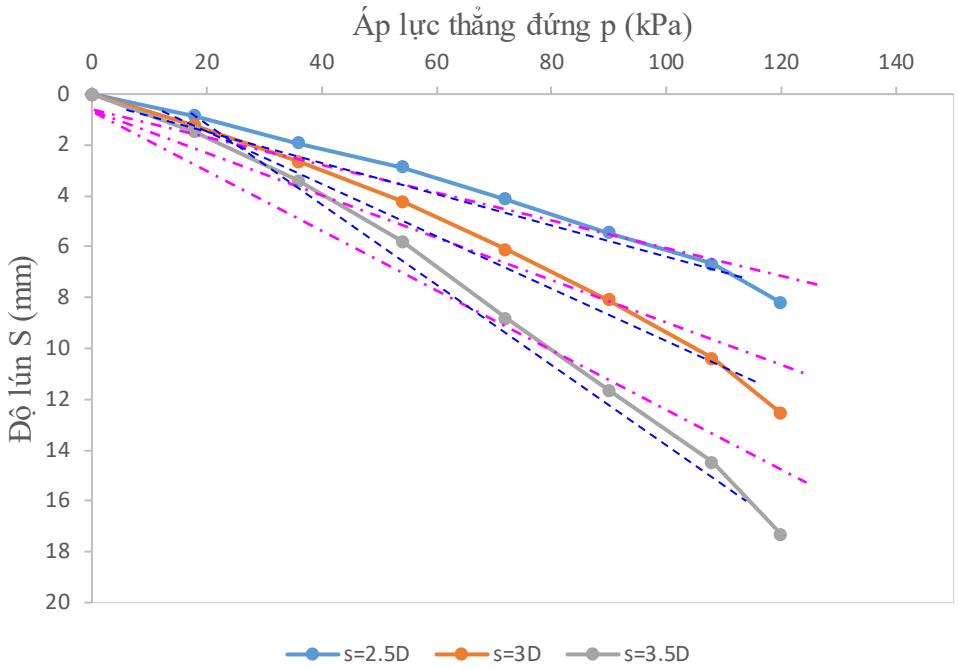
Kết quả thí nghiệm theo dõi độ lún tại các vị trí đỉnh trụ VLHR và tại điểm nền đất nằm giữa các trụ, tương ứng với các cấp tải trọng và các khoảng cách giữa các trụ (s/D) khác nhau được sử dụng để phân tích, so sánh và đánh giá. Các số liệu thu được tự động từ các đầu đo áp lực đỉnh trụ và đầu đo áp lực đất tại đất nền giữa các trụ, cho phép tính toán được sự phân bố ứng suất trên đỉnh trụ và phần đất nền xung quanh. Các kết quả chi tiết được thể hiện trong Bảng 3 là cơ sở thực nghiệm để đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố đến khả năng làm việc của hệ trụ VLHR kết hợp lưới địa kỹ thuật trong gia cố nền đất yếu dưới tác dụng trọng đắp.

Kết quả nghiên cứu cho thấy, khi khoảng cách giữa các trụ s giảm (từ 3,5 D xuống 2,5 D), độ lún đất nền đều giảm. Điều này cho thấy rõ rằng việc giảm khoảng cách giữa các trụ, tỷ lệ diện tích gia cố tăng, hệ số tập trung ứng suất phát huy hiệu quả ứng xử phần lưới địa kỹ thuật và khi đó làm tăng tính hiệu quả trong việc chuyển tải trọng xuống nền đất.

Tỷ lệ s/D giảm, độ lún giảm trung bình từ 22% (đối với s=3,5D so với s=2,5D), cho thấy sự tăng cường khả năng chuyển tải. Điều này cho thấy lớp lưới địa kỹ thuật phân tán lực hiệu quả hơn, giảm thiểu độ lún tổng thể của đất nền khi khoảng cách giữa các trụ phù hợp với giá trị cường độ chịu kéo, độ cứng và độ giãn dài của lưới.

Bảng 3. *Kết quả đo độ lún đầu trụ và độ lún của đất nền theo từng cấp áp lực*

s/D	Áp lực thẳng đứng (kPa)	18 (kPa)	36 (kPa)	54 (kPa)	72 (kPa)	90 (kPa)	108 (kPa)	120 (kPa)
2.5	Độ lún đất nền (mm)	0.845	1.818	2.79	3.763	4.736	5.709	6.68
	Ứng suất đầu trụ (kPa)	56.02	100.02	132.03	161.97	180.11	193.98	199.02
	Áp lực đất nền (kPa)	15.41	29.97	45.02	62.12	78.09	93.14	98.06
3.0	Độ lún đất nền (mm)	1.249	2.65	4.23	6.74	8.11	10.41	12.86
	Ứng suất đầu trụ (kPa)	56.12	101.86	137.95	170.04	188.01	201.96	207.23
	Áp lực đất nền (kPa)	16.17	31.42	48.21	66.88	83.52	99.33	103.31
3.5	Độ lún đất nền (mm)	1.49	3.42	5.34	8.82	11.65	14.48	17.32
	Ứng suất đầu trụ (kPa)	57.02	103.93	147.01	176.24	197.07	208.89	216.05
	Áp lực đất nền (kPa)	17.11	33.23	52.52	70.54	89.42	102.41	108.07



Hình 3. Quan hệ độ lún với tải trọng và khoảng cách giữa các trụ trên mô hình vật lý

Kết quả nghiên cứu mô hình thực nghiệm cho thấy, ứng suất đầu trụ tăng theo áp lực thẳng đứng ở tất cả các tỉ lệ khoảng cách khác nhau. Khi khoảng cách giữa các trụ tăng, ứng suất tập trung trên đỉnh trụ cũng tăng lên nhưng độ dốc gia tăng là khác nhau. Khi tải tác dụng đạt 1 giá trị nhất định, mà ở đây là khoảng 50kPa, độ dốc quan hệ (Hình 3) có sự phân hóa dần, nghĩa là tác dụng lưới địa kỹ thuật bắt đầu thể hiện vai trò phân bố ứng suất của chứng. Tỷ lệ tăng ứng suất gia tăng theo tỉ lệ s/D cho thấy ở khoảng cách s = 2,5 hiệu quả phân bố tải trọng có phần tốt hơn. Điều này là do sự giảm tương tác giữa các trụ, làm tăng khả năng chịu tải của từng trụ riêng lẻ.

Ngược lại, áp lực đất nền trong các trường hợp tăng chậm hơn so với ứng suất đầu các trụ, chứng minh rằng phần lớn tải trọng được truyền qua các trụ. Áp lực đất nền tương đối thấp ở tất cả các trường hợp, chỉ tăng nhẹ khi áp lực thẳng đứng tăng, nhưng luôn thấp hơn nhiều so với ứng suất đầu trụ: từ 15.41 kPa lên 98.06 kPa (s=2.5D); từ 16.17 đến 103.31 kPa (s=3D) và đạt từ 17.11 đến 108.07 kPa (s/=3.5D). Nghĩa là, độ chặt hay độ cứng trụ phát huy tác dụng trong nền đất yếu khi có lưới. Điều này phần nào cho thấy, hệ trụ HVLR và lưới ĐKT đã hoạt động hiệu quả trong việc chuyển tải trọng qua các trụ, góp phần làm giảm độ lún không đều, một trong những mục tiêu chính của gia cố nền khi sử dụng hệ này.

4.2 Hệ số tập trung ứng suất

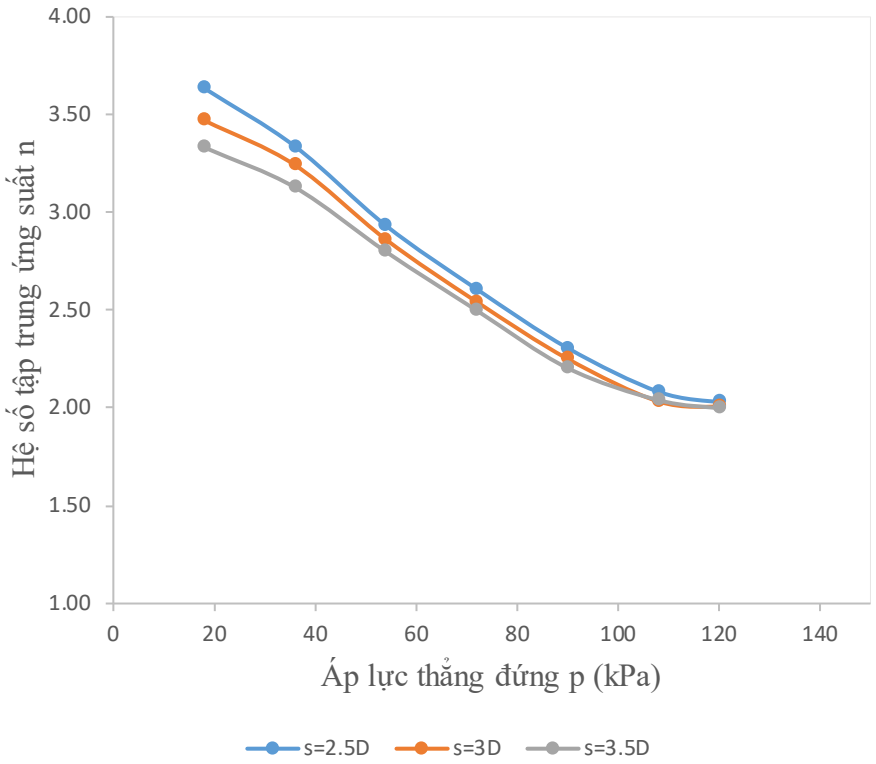
Hệ số tập trung ứng suất n là tỉ lệ giữa ứng suất truyền qua các trụ gia cố (σ_c) và ứng suất truyền qua đất nền (σ_s)

$$n = \frac{\sigma_c}{\sigma_s} \tag{3}$$

Hệ số tập trung ứng suất n là một thông số quan trọng, không thể thiếu để đánh giá khả năng làm việc của trụ VLHR trong nền đất yếu. Thông số này phản ánh mức độ chia tải giữa trụ và đất nền dưới tác dụng của áp lực thẳng đứng P. Việc nghiên cứu sự thay đổi của n theo tải trọng và khoảng cách trụ s giúp xác định được hiệu quả gia cố cũng như cơ chế làm việc của hệ nền - trụ.

Xu thế giảm của n theo P cho thấy, khi tải trọng còn nhỏ, trụ VLHR chịu phần lớn tải trọng, đất nền ít tham gia. Tuy nhiên, khi tải trọng tăng, đất nền dần đóng vai trò quan trọng hơn, dẫn đến sự phân phối tải trọng cân bằng hơn giữa các trụ và đất.

Khoảng cách giữa các trụ có ảnh hưởng rõ rệt ở giai đoạn tải trọng thấp đến trung bình. Cụ thể, mật độ trụ dày (s=2.5D) giúp nâng cao hiệu quả gia cố nhờ khả năng truyền tải tốt hơn từ nền đất sang trụ VLHR. Ngược lại, khi khoảng cách tăng lên (s=3.5D), hiệu quả giảm, đất nền phải gánh nhiều tải trọng hơn. Tuy nhiên, sự khác biệt này giảm dần và gần như mất đi ở tải trọng cao, phản ánh giới hạn của việc tăng mật độ cọc trong điều kiện khai thác tải trọng lớn, và cũng là phản ánh vai trò lớp lưới địa kỹ thuật trong hệ VLHR với lưới ĐKT (Hình 4).



Hình 4. Sự thay đổi hệ số tập trung ứng suất trong mô hình thực nghiệm

4.3 Kết quả thí nghiệm đo biến dạng lưới địa kỹ thuật

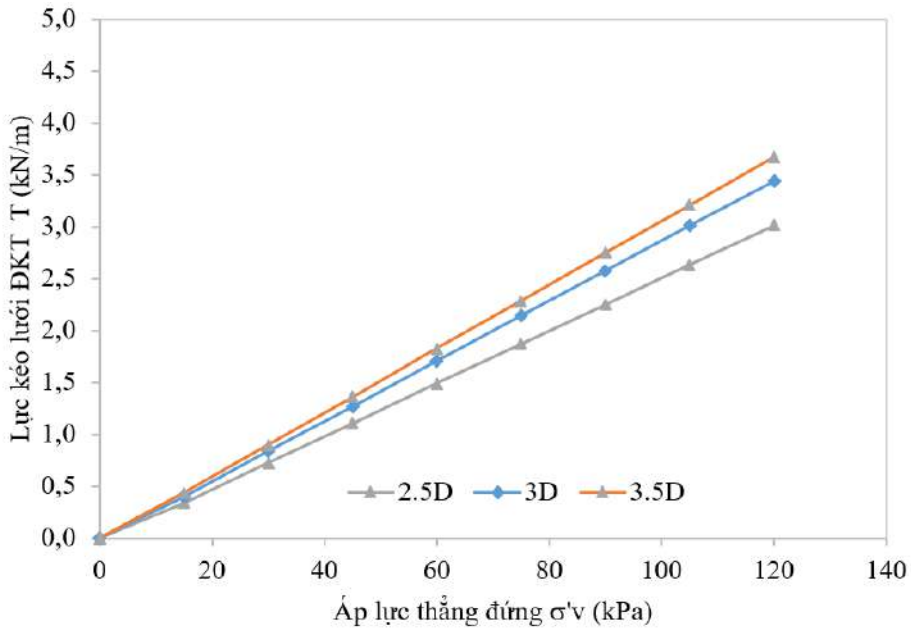
Kết quả đo biến dạng và độ dãn dài tương đối lưới địa kỹ thuật trong các trường hợp được thể hiện tại Bảng 4 và Hình 5.

Bảng 4. *Kết quả đo biến dạng của lưới địa kỹ thuật theo từng cấp áp lực*

Khoảng cách trụ	Áp lực thẳng đứng (kPa)	15 kPa	30 kPa	45 kPa	60 kPa	75 kPa	90 kPa	105 kPa	120 kPa
s=2.5xD	Lực căng T (kN/m)	0.342	0.724	1.106	1.487	1.869	2.25	2.631	3.013
s=3xD		0.402	0.835	1.27	1.70	2.14	2.57	3.01	3.44
s=3.5xD		0.437	0.898	1.361	1.823	2.285	2.748	3.21	3.67

Từ kết quả thực nghiệm cho thấy, lực căng trong lưới địa kỹ thuật (T) tăng tuyến tính khi áp lực thẳng đứng (σ'_v) tăng, đồng thời khác biệt giữa các khoảng cách giữa các trụ. Khi khoảng cách càng tăng, thì mức độ gia tăng lực kéo tăng cho thấy lưới địa kỹ thuật tại khoảng cách lớn chịu tải trọng lớn hơn do giảm tương tác giữa các cọc.

Ở khoảng cách 2.5D, lực căng T nhỏ nhất, cho thấy mức độ phân phối tải trọng qua cọc và lưới địa kỹ thuật hiệu quả hơn. Khi tăng khoảng cách lên 3.5D, lực căng T tăng cao hơn đáng kể, chứng tỏ sự tập trung tải trọng lên lưới địa kỹ thuật và yêu cầu cao hơn về độ cứng của lưới để đảm bảo độ bền.



Hình 5. Kết quả xác định lực kéo lưới ĐKT trên mô hình thực nghiệm

Như vậy, có thể thấy lưới địa kỹ thuật đã đóng góp gia tăng hiệu quả cho trụ vật liệu hạt rời trong xử lý nền đất yếu. Lực kéo T cao hơn ở khoảng cách 3,5D chứng minh rằng lưới địa kỹ thuật chịu tải trọng lớn hơn khi tương tác giữa các trụ giảm, tuy nhiên có khả năng tập trung ứng suất tại các điểm liên kết giữa lưới và trụ, và là một yếu tố quan trọng khi gia cố nề đất yếu. Biểu đồ hình 4 và 4 thể hiện rõ qui luật đối lập giữa hệ số tập trung ứng suất với lực kéo lưới ĐKT trong hệ VLHR - lưới ĐKT.

Kết quả thí nghiệm cho thấy rõ hiệu quả của việc cải tạo nền đất yếu bằng nhóm trụ VLHR kết hợp lưới ĐKT. Biểu đồ quan hệ tải trọng - độ lún cho thấy nền đất yếu sau khi được xử lý có độ cứng ban đầu cao hơn và khả năng chịu tải cuối cùng lớn hơn đáng kể so với nền đất yếu không gia cố.

5. Kết luận

Từ các nghiên cứu chung về trụ vật liệu hạt rời kết hợp lưới địa kỹ thuật trong gia cố nền đất yếu dưới khối đắp, lý thuyết đồng dạng, các nghiên cứu về mô hình thí nghiệm trên thế giới và Việt Nam, mô hình vật lý tỷ lệ 1:20 được lựa chọn và xây dựng.

Kết quả khảo sát độ lún và sự phân bố ứng suất, hệ số tập trung ứng suất, và biến dạng lưới địa kỹ thuật trong mô hình thực nghiệm 1:20 hoàn toàn phù hợp để khảo sát sự làm việc của hệ trụ VLHR kết hợp lưới ĐKT khi gia cố nền đất yếu dưới tải trọng đắp ở điều kiện thí nghiệm trong phòng.

Tài liệu tham khảo

Arefpanah, S., & Sharafi, A. (2024). Analytical and experimental study on shaking effects for improved stone column foundations. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Ground Improvement, 177(4), 255-272.

Barksdale, R. D., & Bachus, R. C. (1983). Design and Construction of Stone Columns (Report No. FHWA/RD-83/026). Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.

Castro, Jorge. (2017). Modeling Stone Columns. Materials. 10. 782. 10.3390/ma10070782.

Garnier, J. et al. (2007). Catalogue of scaling laws and similitude rules in geotechnical centrifuge modelling. International Journal of Physical Modelling in Geotechnics, 7(3), 1-23

Hughes, J. M. O., & Withers, N. J. (1974). Reinforcing of soft cohesive soils with stone columns. Ground Engineering, 7(3), 42-49.

Hung Van Pham, Huy Quang Dang, Lam Phuc Dao, Long Khac Nguyen (2020). Study on arching effect in the embankment over pile reinforced soft soil. Journal of Mining and Earth Sciences Vol. 61, Issue 6 (2020) 19 - 25

Bạch Vũ Hoàng Lan 2017. Nghiên cứu ảnh hưởng của hiệu ứng nhóm đến khả năng chịu tải dọc trục và độ lún của nhóm cọc thẳng đứng, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Viện Khoa học thủy lợi miền Nam, Hồ Chí Minh.

Nguyễn Thái Linh 2021. Nghiên cứu sự làm việc của cọc đất xi măng kết hợp lưới địa kỹ thuật cường độ cao trong xử lý nền đất yếu cho xây dựng giao thông. Luận án tiến sĩ kỹ thuật.

Priebe, H. J. (1995). The design of vibro replacement. Ground Engineering, 28(10), 31-37.

Bùi Trường Sơn, Th.S Lê Hồng Quang 2016. Ứng dụng cọc đá để gia cố nền đất yếu ở Việt Nam. https://vssmge.org/ung-dung-coc-da-de-gia-co-nen-dat-yeu-o-viet-nam/

Yin, Zy., Wang, Hl. & Geng, Xy. Physical model testing in geotechnical engineering. J. Zhejiang Univ. Sci. A 23, 845-849 (2022). https://doi.org/10.1631/jzus.A22PMTGE).

Development of a laboratory experimental model to investigate the performance of granular column groups combined with geogrid reinforcement in soft ground improvement

Nguyen Hai Ha[1,*] , Nguyen Duc Manh[1,*], Nguyen Thai Linh[1], Le Thi Hong Van[1]

[1]*Hanoi University of Transport and Communications*

**Corresponding author: Email: haihadkt@utc.edu.vn; nguyenducmanh@utc.edu.vn*

Abstract

This paper presents the development of a laboratory experimental model to investigate the behavior of a granular column group combined with geogrid reinforcement for improving soft ground. Based on the principles of model similarity and dimensional analysis, a 1/20 scale physical model was selected, designed, and constructed to simulate the reinforcement system. The model development process was meticulously controlled, from material preparation and soft ground consolidation to the installation of granular columns and the setup of a modern loading and measurement system.

The research focuses on the quantitative investigation of the system's behavioral patterns under static loading. Key measurements include the redistribution of stress on the column heads and the surrounding soil, overall settlement, and the tensile forces mobilized in the geogrid. Experiments were conducted under different scenarios of column spacing (s/D ratio) to evaluate the influence of this geometric parameter on the solution's effectiveness.

Keyword: Granular Column (GC), Geogrid (GG), Soft Soil, Physical Model.

ẢNH HƯỞNG TRƯỢT NÔNG TỚI ỔN ĐỊNH NỀN ĐƯỜNG GIAO THÔNG Ở VÙNG NÚI - NGHIÊN CỨU ĐIỂN HÌNH TUYẾN TL128 ĐOẠN TỪ CHĂN NƯA ĐI SÌN HỒ, TỈNH LAI CHÂU

Nguyễn Việt Tiệp[1,*], Nguyễn Đức Mạnh[2,*], Mai Sỹ Hùng[1]

[1]Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

[2]Trường Đại học Giao thông vận tải

**Tác giả liên hệ: Email: tiepnv@huce.edu.vn; nguyenducmanh@utc.edu.vn*

Tóm tắt

Trượt đất nông, khi mặt trượt <5m, là một trong số loại hình mất ổn định phổ biến, kết quả điều tra của Nhóm nghiên cứu cho thấy chúng chiếm trên 94,5% số điểm sụt trượt trên hệ thống đường giao thông hiện hữu vùng núi phía Bắc nước ta.

Tuyến đường TL128 đi qua khu vực địa hình đồi núi chia cắt, đặc biệt đoạn Chăn Nưa đi Sìn Hồ, tỉnh Lai Châu thường xuyên xảy ra trượt đất. Khảo sát thực tế tuyến nghiên cứu này cho thấy hầu hết các điểm sụt trượt ta luy nền đào có độ sâu mặt trượt nhỏ (1-5 m). Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, nhiều trường hợp, dù qui mô trượt không lớn, nhưng sự nguy hiểm cũng như trực tiếp gây mất an toàn giao thông và phá hủy nền đường không hề nhỏ. Chúng không chỉ làm thay đổi địa hình nền đào, vùi lấp hệ thống thoát nước dọc đường làm tràn nước lên mặt đường, phá hỏng mặt đường và làm mất ổn định nền đường, tạo vật liệu cứng trôi theo dòng chảy tạm gây phá hủy ta luy âm và hệ thống công trình cống và cầu trên tuyến này.

***Từ khóa**:* Trượt nông, ổn định nền đường, tỉnh lộ 128.

1. Đặt vấn đề

Tuyến đường TL128 có điểm đầu giao với QL12 và điểm cuối giao với QL4D, đoạn Chăn Nưa đi Sìn Hồ dài khoảng 20km, và đây là tuyến đường huyết mạch đến trung tâm huyện Sìn Hồ cũ. Trong lịch sử và những năm gần đây, trượt đất xảy ra thường xuyên trên tuyến đường này. Kết quả khảo sát trên đoạn tuyến nghiên cứu điển hình cho thấy trượt nông, với độ sâu mặt trượt từ 1-5 mét là dạng mất ổn định ta luy nền đường đào chủ yếu, chiếm 93% số điểm trượt ghi nhận được [1].

Trượt nông thường xuất hiện và xảy ra nhanh, đột ngột và là một trong những loại bất lợi nhất trong số các loại hình trượt đất đá do tần suất xuất hiện cao trên các sườn đồi núi dốc và khả năng phát triển thành các dòng mảnh vụn có sức tàn phá lớn. Các vụ trượt đất nông thường là nguồn gốc gây ra lũ bùn đá, và khi đó thường gây ra thiệt hại lớn về người và tài sản, phá hủy nền đường chia cắt giao thông, gây nhiều khó khăn, trở ngại cho công tác quản lý và khai thác các công trình đường bộ vùng đồi núi trong mỗi mùa mưa ở vùng núi nước ta.

Nhìn chung tai biến trượt lở đất thu hút được sự quan tâm của Nhà nước, các bộ ban ngành ở trung ương và địa phương, các nhà khoa học. Vì vậy các nghiên cứu về trượt lở đất ngày càng nhiều. Nghiên cứu trượt đất ở nước ta trên đường bộ ở vùng núi, đáng chú ý có các nghiên cứu Trần Tân Văn và nnk (2005) [2], Trần Tân Văn và nnk (2006) [3], Nguyễn Đức Lý và nnk [4], Nguyễn Thị Thanh Nhàn (2014) [5], Đỗ Minh Đức (2020) [6], Đỗ Minh Đức (2022) [7], Huỳnh Thanh Bình (2023) [8]. Các nghiên cứu trượt lở trên các tuyến đường chủ yếu là phân vùng nguy cơ hoặc phân vùng rủi ro để chỉ ra khu vực nào có nguy cơ trượt lở cao và mức độ rủi ro lớn mà không đi vào đánh giá chi tiết ảnh hưởng của trượt đất nông tới ổn định nền đường, chất lượng mặt đường, hệ thống thoát nước và các công trình trên tuyến.

2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu này áp dụng phương pháp điều tra, khảo sát thực địa, tổng hợp và phân tích dữ

liệu thứ cấp để làm rõ cơ chế và mức độ ảnh hưởng của trượt nông đến nền mặt đường tuyến đường TL128, đoạn Chăn Nưa đi Sìn Hồ.

2.1 Thu thập dữ liệu

Thu thập và tổng hợp các dữ liệu hiện có về khu vực, trong đó tập trung chủ yếu:

- Dữ liệu thứ cấp, hồ sơ hay bản đồ địa chất, địa kỹ thuật công trình, dữ liệu khí hậu (lượng mưa), thủy văn và địa chất thủy văn, và lịch sử trượt đất dọc tuyến đường. Dữ liệu này được dùng để xác định tần suất, vị trí, đặc điểm, loại hình … xảy ra trượt.
- Dữ liệu hiện trạng, tập trung thu thập bản đồ địa hình, ảnh vệ tinh và các báo cáo bảo trì gần nhất liên quan đến tuyến đường, các hiện trạng hư hỏng đường và công trình trên tuyến.

Thực hiện khảo sát chi tiết, chuyên sâu dọc tuyến đường TL128, tập trung vào các vị trí có dấu hiệu trượt hoặc đã từng xảy ra.

- Xác định trượt đất nông: Định vị chính xác, đo đạc kích thước sơ bộ và phân loại các điểm trượt theo loại hình (trượt khối, trượt phẳng) và xác định độ sâu bề mặt trượt (1-5 m) để khẳng định là trượt nông.
- Đánh giá ảnh hưởng công trình: Ghi chép, mô tả và chụp ảnh chi tiết tác động của trượt nông lên ba thành phần: nền đường (biến dạng, hư hỏng), mặt đường (nứt vỡ, biến dạng) và hệ thống thoát nước (vùi lấp, tắc nghẽn), ta luy âm và các công trình trên tuyến (cầu, cống ngang).

2.2 Phân tích dữ liệu và đề xuất giải pháp

Các dữ liệu thu thập được phân tích, đánh giá, để từ đó đề xuất hướng hay giải pháp xử lý cũng như giảm thiểu nguy cơ phá huy đường hiện hữu.

- Phân tích thống kê: thống kê tần suất và tỷ lệ các loại hình trượt nông, cũng như mức độ tương quan giữa vị trí trượt và dạng hư hỏng công trình.
- Phân tích cơ chế: dựa trên quan sát thực địa và nguyên lý cơ học đất để giải thích cơ chế dịch chuyển của lớp phủ bề, ta luy nền đào và gây ra các hư hỏng đã ghi nhận.
- Đề xuất giải pháp: các giải pháp kỹ thuật được xây dựng và luận chứng dựa trên việc khắc phục triệt để nguyên nhân chính gây trượt (kiểm soát nước) và tăng cường ổn định bờ dốc nền đào (gia cố kết cấu), đảm bảo tính khả thi và hiệu quả cho khu vực miền núi.

3. Đặc điểm tự nhiên và lịch sử trượt lở của khu vực nghiên cứu

3.1 Đặc điểm tự nhiên tuyến đường nghiên cứu

Tuyến đường TL128 thuộc tỉnh Lai Châu có tổng chiều dài khoảng 90km, có điểm đầu tuyến từ xã Chăn Nưa (điểm giao với QL12) đi qua Sìn Hồ tới điểm cuối tuyến là thành phố Lai Châu (điểm giao với QL4D). Đoạn tuyến nghiên cứu từ Chăn Nưa đi Sìn Hồ có chiều dài 20km.

Tuyến đường này nằm trong khu vực đặc trưng miền núi Tây Bắc Việt Nam, địa hình dọc tuyến đường đặc trưng của vùng núi cao, hiểm trở, sườn dốc đứng. Độ cao thay đổi liên tục từ 300m đến hơn 2.000m, gồm nhiều dải núi phân cắt mạnh, sườn dốc, điều kiện đi lại khó khăn, kéo dài theo phương Tây Bắc - Đông Nam. Dạng địa hình núi cao có độ phân cắt sâu lớn, độ dốc địa hình phổ biến > 30^0.

Hệ thống mạng lưới suối, đặc biệt hệ thống thung lũng là khe cạn có dạng dòng chảy tạm thời xung quanh tuyến đường TL128 khá dày đặc, nhỏ hẹp và dốc... Mùa mưa thường từ tháng 5 đến tháng 10 chiếm khoảng 85-90% tổng lượng mưa cả năm. Mùa khô từ tháng 11 đến tháng 4 năm sau có lượng mưa rất thấp, đôi khi gần như không có mưa. Với đặc điểm địa hình dốc, chia cắt mạnh và lượng mưa hàng năm lớn dao động từ 2.500mm đến 3.000mm, tùy thuộc vào từng khu

vực cụ thể, một số nơi ở vùng núi cao có thể đạt trên 3.500mm đã khiến tuyến đường này thường xuyên xảy ra sụt trượt đất.

Tuyến nghiên cứu nằm trong phạm vi đới cấu trúc Mường Tè và một phần các đới Fanxipan, Sông Đà, Sông Mã, thuộc miền kiến tạo Tây Bắc Bộ điển hình.

Các đá cát kết chứa vôi ở phần đáy (dày 20 - 30m), đá phiến vôi xen đá vôi lẫn sét, 150m; đá vôi xen kẹp sét vôi, đá vôi sọc dải, 350m chiếm phần lớn diện tích tuyến nghiên cứu, thành phần chủ yếu gồm cát kết, bột kết, đá phiến sét, xen đá vôi, sét vôi, thuộc các hệ tầng: Bó Hiềng, Nậm Pìa, Bế Khế. Các hệ tầng này thường có chiều dày thay đổi từ 300 đến 1.200m.

Tuyến nghiên cứu có hoạt động kiến tạo mạnh mẽ và phức tạp, biểu hiện rõ nét qua các đứt gãy sâu và hệ thống đứt gãy phương Tây Bắc - Đông Nam, làm cho đất đá bị cà nát dập vỡ phong hóa mạnh, tạo thành các đới xung yếu rộng hàng trăm mét.

Tuyến nghiên cứu thuộc địa hình núi trung bình - cao, phía Đông là dãy Hoàng Liên Sơn, phía Tây là dãy Sông Mã, nằm giữa hai dãy đồ sộ trên là địa hình phân cắt mạnh gồm nhiều thung lũng sâu và hẹp, các sống núi chủ yếu kéo dài theo phương Tây Bắc - Đông Nam. Độ cao địa hình từ 1.000m đến trên 2.000m, gồm nhiều dải núi phân cắt mạnh, sườn dốc, điều kiện đi lại rất khó khăn, kéo dài theo phương Tây Bắc - Đông Nam, dạng chữ "V" với 2 sườn dốc 30^o - 60^o.

3.2 Lịch sử trượt đất trên tuyến đường nghiên cứu

Trong những năm gần đây, tuyến đường TL128 tại Lai Châu đã nhiều lần bị ảnh hưởng bởi sụt trượt đất, đặc biệt là trong mùa mưa hàng năm. Việc bị chia cắt và mất khả năng lưu thông xảy ra khá thường xuyên những năm qua. Các khu vực có lịch sử trượt đất lặp lại thường phản ánh địa chất yếu, độ dốc cao, hoặc tác động của con người trong việc xây dựng các công trình giao thông rất rõ nét. Dưới đây là bảng tổng hợp một số điểm trượt đáng chú ý trong những năm gần đây (Bảng 1):

Bảng 1. *Tổng hợp một số điểm trượt trong các năm gần đây [9,10,11,12,13, 14]*

STT	Thời gian	Điểm trượt	Quy mô	Hiện trạng
1	28/8/2019	Km10+230	300m^3	Tuyến đường bị chia cắt hoàn toàn do sụt trượt nghiêm trọng tại Km10+230. Khoảng 35m đường bị đứt gẫy hoàn toàn, và gần 40m nền đường bị sạt hoàn toàn nên phải mở tuyến mới.
		Km17+250	25.000m^3	Sụt trượt taluy dương, bùn đất tràn lấp mặt đường gây ách tắc giao thông, xói lở nền đường.
2	17/8/2020	Km17+100	500m^3	Sụt trượt taluy dương, bùn đất tràn mặt đường (lần 3) gây ách tắc giao thông vào lúc 05h30 phút ngày 17.8.
		Km17+250		Sụt trượt taluy dương, bùn đất tràn lấp mặt đường (lần 10) gây ách tắc giao thông, xói lở nền đường gây nguy cơ đứt đường TL128.
3	05/5/2021	Km10+100	250m^3	Mưa lớn gây sụt trượt đất đá xuống mặt đường, gây ách tắc giao thông cục bộ.
		Km17+230	2000m^3	Mưa lớn gây sụt trượt đất đá xuống mặt đường, gây ách tắc giao thông, phá hủy ta luy âm.
	01/7/2021	Km17+230	8.000m^3	Đất, đá đã sụt trượt xuống mặt đường, gây ách tắc giao thông cục bộ.
	25/07/2021	Km11+900	2.000m^3	Sau những trận mưa lớn kéo dài gây sụt trượt taluy dương, đất đá tràn xuống mặt đường gây ách tắc đường.
4	08/6/2022	Km3+150	300m^3	Sụt trượt ta luy dương gây ách tắc giao thông.

STT	Thời gian	Điểm trượt	Quy mô	Hiện trạng
		từ Km20+820 tới Km20+915	450m^3	Đất đá Sụt trượt xuống nền, rãnh dọc gây ách tắc giao thông, ảnh hưởng tới kết cấu mặt đường, ổn định nền đường và khả năng thoát nước của rãnh, cống thoát nước.
	22/8/2022	Km7+900	550m^3	Mưa lớn đã làm cho đất đá sụt trượt xuống mặt đường, gây ách tắc giao thông cục bộ.
5	05/8/2023	Km40+800		Đoạn qua xã Hồng Thu (huyện Sìn Hồ) bị Sụt trượt, sụt lún ở ta luy âm, một đoạn đường khoảng 30m bị sụt lún. Tuyến đường giao thông gần nhất từ TP Lai Châu đi huyện Sìn Hồ bị chia cắt.
	08/8/2023	Km17+230	15.500m^3	Mưa lũ làm đất đá trên ta luy dương thường xuyên chảy tràn ra mặt đường gây tắc đường, xói lở ta luy âm, mép sạt ăn sâu vào mép mặt đường láng nhựa
	12/8/2023	Km9+870	2.235m^3	Thời gian mưa kéo dài, đất đá sụt trượt từ taluy dương xuống nền, mặt đường rãnh dọc gây ách tắc giao thông. Sụt trượt ta luy âm, trôi hạ lưu cống thoát nước.
	12/8/2023	Km10+300	7.200m^3	Mưa lũ làm xói lở đất, đá dưới lòng cầu, sụt trượt phần bê tông gia cố ốp mái trụ cầu, phạm vi sụt trượt ăn sâu vào bệ móng trụ T1 và T2. Hư hỏng ốp mái tứ nón bên phải mố M1.

4. Phân tích ảnh hưởng trượt nông tới ổn định nền đường tuyến nghiên cứu

Thông qua nghiên cứu lịch sử sụt trượt đất từ năm 2019 đến năm 2023, kết hợp với kết quả khảo sát hiện trạng thực địa tại các vị trí trượt lở trong các đợt tháng 3/2023, tháng 3/2024 và tháng 11/2024, cho thấy tuyến đường từ Chăn Nưa đi Sìn Hồ (thuộc tỉnh lộ 128, tỉnh Lai Châu) là đoạn thường xuyên xảy ra sụt trượt, đặc biệt vào mùa mưa, có tới 93% trong số các điểm trượt là trượt nông [1].

Trượt nông trên tuyến TL128 chủ yếu có mặt trượt gần phẳng (dạng hơi lõm)/mái dốc vô hạn (Infinite Slope Model), tức là sự dịch chuyển của lớp đất bề mặt đã bị phong hóa mạnh, bão hòa nước, trên một bề mặt trượt nông gần như song song với bề mặt bờ sụt trượt hoặc dòng mảnh vụn, đặc biệt trên các sườn dốc độ dốc >30^0. Đặc điểm này, cho phép giải thích cơ chế dịch chuyển nhanh, đột ngột và tần suất cao của trượt nông, bởi nó liên quan trực tiếp đến sự thay đổi mực nước ngầm nông chỉ trong thời gian ngắn sau mưa lớn.

Trượt nông trên tuyến TL128 phát sinh là sự kết hợp của ba yếu tố chính: địa hình dốc, địa chất bất lợi, và tác động bởi nước khi mưa lớn. Trong đó, nước là yếu tố kích hoạt mạnh mẽ nhất.

Tuyến đường nằm trong khu vực núi cao, hiểm trở điển hình của vùng Tây Bắc, với độ cao thay đổi từ 300 m đến trên 2.000 m.

Độ dốc địa hình lớn, phổ biến từ 30^0-60^0, làm tăng thành phần lực gây trượt song song với bờ dốc một cách đáng kể.

Tuyến đường nghiên cứu điển hình nằm trong đới kiến tạo mạnh mẽ với các đứt gãy sâu phương Tây Bắc - Đông Nam đặc trưng. Các hoạt động kiến tạo này khiến đất đá (cát kết, đá phiến sét, bột kết) bị cà nát, dập vỡ và phong hóa mạnh, tạo thành các đới xung yếu rộng. Lớp đất phong hóa này (có hàm lượng sét vôi và sét) vừa dày vừa có cường độ thấp, dễ bị mềm hóa và bão hòa nước, cung cấp vật liệu sẵn sàng cho trượt nông.

Mưa lớn và tập trung dòng chảy là nguyên nhân kích hoạt trực tiếp và quan trọng, được chứng minh qua lịch sử các vụ trượt đều xảy ra sau/trong khi mưa lớn hoặc mưa kéo dài.

Khu vực có lượng mưa hàng năm lớn, dao động từ 2.500 mm đến 3.000 mm, có nơi đạt trên 3.500 mm.

** Trượt nông gây phá hủy trực tiếp nền đường*

Tác động của trượt nông, trực tiếp gây phá hủy hay xói lở nền đường. Khi nền đường có tính ổn định tốt, thì mức độ ảnh hưởng của trượt đất tới nền đường thấp và ngược lại thì mức ảnh hưởng của trượt đất tới tuyến đường càng cao, thậm chí phá hủy hoàn toàn gây chia cắt giao thông.

Dưới tác động của trọng lượng khối đất trượt khi di chuyển từ ta luy dương xuống và kết hợp dòng chảy, có thể gây:

- Sụt lún nền mặt đường do mất cân bằng hoặc mất chân ta luy âm do xói mòn
- Thay đổi ứng suất phân bố trong lớp đất nền, tạo nên hiện tượng nứt vỡ không đồng đều nền mặt đường.
- Gây lún lệch, gãy mặt đường, ảnh hưởng tới kết cấu tầng móng và lớp áo đường.

Đặc biệt, khi có thêm tác động tải trọng xe ô tô, những vùng nền bị hư hỏng hay biến dạng này có thể sập xuống bất ngờ, gây nguy hiểm cho giao thông.

Khi khối đất trượt từ taluy dương tràn xuống, một phần nền đường (mép đường phía taluy dương) có thể bị cuốn trôi hoặc bị xói ngầm, gây sụt lún, nứt gãy nền đường. Một ví dụ điển hình là sự cố tại điểm trượt TL128-034, Tl128-062: sụt trượt taluy âm (sườn đỡ bên ngoài) đã làm sụt lún nền đường, nền đường mất hoàn toàn liên kết và giao thông bị cắt đứt (Hình 1).

a. Điểm trượt TL128-034 *b. Điểm trượt TL128-062*

Hình 1. Trượt đất gây phá hủy nền đường mặt đường TL128 (chụp 03/2024)

** Gây hư hỏng và phá hủy mặt đường*

Dưới tác động của trượt nông, mặt đường bê tông nhựa cấp IV trên đoạn tuyến nghiên cứu thường xuất hiện những hư hỏng cục bộ tại khu vực bị ảnh hưởng. Ba dạng hư hỏng mặt đường điển hình được ghi nhận gồm: lún võng cục bộ; bong bật lớp mặt; và nứt mép mặt đường. Những hư hỏng này làm giảm chất lượng êm thuận, độ bền kết cấu mặt đường, đồng thời là tiêu chí đánh giá mức độ xuống cấp trong công tác duy tu bảo trì cho tuyến đường. Các phân tích cơ chế hình thành từng loại hư hỏng trong mối liên hệ với hiện tượng trượt nông ta luy dương nền đào bao gồm:

- Lún võng cục bộ: Lún võng cục bộ là hiện tượng mặt đường bị sụt xuống ở một phạm vi nhỏ, tạo thành vệt lõm hoặc vùng trũng so với cao độ chung. Trên đường miền núi, lún cục bộ thường xuất hiện ngay tại đoạn nền đường bị mất ổn định do trượt taluy. Khi đất nền dưới mặt đường bị trượt đi hoặc bị xói rỗng, lớp móng và mặt đường phía trên sẽ không còn được nâng đỡ đầy đủ, dẫn đến sụt lún dưới tải trọng xe. Biểu hiện ban đầu là mặt đường võng xuống nhẹ, có thể tạo thành gợn sóng hoặc vệt lún bánh xe khi xe chạy qua. Theo thời gian (và nếu tiếp tục có mưa), vùng lún có xu hướng mở rộng và lún sâu thêm do nền đường tiếp tục bị suy yếu. Lún võng cục bộ không chỉ gây mất êm thuận mà còn làm đọng nước trên mặt đường, dễ dẫn tới hư hại nặng hơn nếu không khắc phục kịp thời. Trong công tác bảo trì, yêu cầu đặt ra là mặt đường không được có chỗ lún lõm cục bộ; nếu phát hiện phải bù lấp, vá sửa ngay để khôi phục độ bằng phẳng và đảm bảo thoát nước bề mặt.

- Bong bật lớp mặt: Bong bật lớp mặt (hay bong tróc, tróc lở mặt đường) là dạng hư hỏng mà lớp bê tông nhựa phía trên cùng bị tách rời, vỡ vụn từng mảng nhỏ, để lộ đá trơ hoặc tạo thành ổ gà. Hiện tượng này trên đường cấp IV thường diễn ra sau khi mặt đường đã bị nứt và thấm nước do ảnh hưởng trượt taluy. Cụ thể, khi nền đường bị xê dịch hoặc lún không đều, mặt nhựa giòn và nứt nẻ. Nước mưa theo khe nứt thấm xuống làm yếu lớp vật liệu bên dưới, đồng thời làm giảm độ dính bám giữa nhựa đường và cốt liệu. Dưới tác động tải trọng xe qua lại, các mảnh vật liệu bong ra, tạo thành những vết bong tróc, rời rạc trên bề mặt. Trượt nông taluy âm góp phần thúc đẩy quá trình này: khi mép đường lún sụt, nước từ taluy dương và rãnh bị tắc có thể chảy tràn qua mặt đường, thấm vào kết cấu áo đường nhiều hơn. Kết quả là lớp mặt nhanh chóng bị bạc màu, bong bật từng mảng, đặc biệt ở các vị trí nứt và trũng đọng nước. Khi lớp mặt bị bong bật, kết cấu bê tông nhựa mất đi lớp bảo vệ chống nước và chống mài mòn, khiến mặt đường xuống cấp rất nhanh nếu không được vá sửa kịp thời.

- Nứt mép mặt đường: Nứt mép là loại vết nứt chạy dọc sát mép phần xe chạy, thường xuất hiện khi mép đường bị mất hỗ trợ hoặc chịu ứng suất kéo uốn quá mức. Trượt nông taluy âm là nguyên nhân hàng đầu dẫn đến nứt mép đường ở vùng đồi núi: khi đất chân taluy trượt đi, phần lề và mép đường bị "rỗng" bên dưới, không còn đủ nền tựa. Dưới trọng lượng mặt đường và tải xe, mép mặt đường bị tách khỏi phần còn lại, hình thành vết nứt dọc kéo dài. Vết nứt này thường mở rộng dần (rộng đến vài cm) và lan theo chiều dài đường, dịch vào sâu hơn nếu cung trượt tiếp tục phát triển. Ngoài ra, tải trọng bánh xe sát lề (ví dụ xe tránh nhau trên đường hẹp) sẽ làm trầm trọng thêm vết nứt mép khi nền yếu. Hiện tượng mép nhựa nứt vỡ do mất đất đỡ đã được quan sát trên tuyến TL128 sau mưa bão: mép mặt đường bị khoét hàm ếch và tạo hố sâu ngay sát lề. Khi nứt mép xảy ra, nước dễ dàng xâm nhập xuống tầng móng qua khe nứt, gây lún sụt thêm và có thể làm sụp cả biên mặt đường.

Một số điểm trên TL128 như điểm trượt TL128-007, TL128-023 (Hình 2) đã ghi nhận hiện tượng lún cục bộ, bong bật lớp mặt và nứt mép mặt đường do mất ổn định nền đỡ bên dưới. Đây là biểu hiện rõ rệt do tác động trượt nông gây lấp rãnh dọc, dềnh và tràn nước mưa lên mặt đường, kết hợp tải trọng giao thông đã đẩy nhanh các hư hỏng mặt và móng đường tuyến nghiên cứu.

a) Điểm trượt TL128-007 *b) Điểm trượt TL128-023*

Hình 2. Ảnh hưởng trượt đất tới chất lượng mặt đường TL128 (chụp 03/2024)

** Gây hư hỏng và phá hủy hệ thống thoát nước dọc tuyến và công trình trên tuyến*

Hệ thống thoát nước dọc (rãnh dọc) là một thành phần quan trọng trong kết cấu hạ tầng giao thông, đặc biệt ở các khu vực miền núi, có địa hình phức tạp, mưa nhiều, thường bao gồm:

- Thoát nước mặt: rãnh dọc, cống ngang, hố ga.

- Thoát nước ta luy nền đào: rãnh thu nước chân taluy, ống tiêu nước, bậc nước, rãnh đỉnh, mặt cơ.

Khi xảy ra trượt đất ở taluy dương, khối đất đá trượt xuống có thể vùi lấp hoặc làm hư hại các

rãnh dọc ven đường. Các rãnh thoát nước bị tắc nghẽn khiến nước mưa không thoát được, dẫn đến nước tràn lên bề mặt đường. Nếu khối trượt có lực va đập lớn, nó có thể làm vỡ hoặc làm xê dịch các cống thoát nước ngang, khiến các cống này mất khả năng dẫn nước. Trong nhiều trường hợp thực tế, rãnh thoát nước bị xô lệch hoặc sụp xuống, càng gây ngập úng mặt đường, và phá hủy mặt đường khi chịu thêm tải trong giao thông.

Địa hình bờ dốc sau trượt bị biến dạng, làm thay đổi hướng dòng chảy bề mặt của nước mưa. Thay vì phân tán theo thiết kế ban đầu, nước giờ đây có xu hướng tập trung vào một điểm hoặc khu vực thấp, gây xói lở cục bộ ở chân nền đường phía taluy âm. Đặc biệt, khi dòng nước bị dồn vào những nơi không được gia cố bảo vệ, hiện tượng xói mòn chân taluy và cuốn trôi vật liệu nền đường thường xuyên xảy ra, trực tiếp làm mất ổn định của kết cấu nền mặt đường.

Trượt đất trên ta luy nền đào có thể làm mất hoàn toàn chức năng của hệ thống thoát nước trên bờ dốc. Nhiều đoạn rãnh thu nước ở chân taluy bị đứt gãy, khiến chúng không còn khả năng thu gom và dẫn nước từ mái dốc ra cống ngang.

Hệ thống thoát nước chức năng chính là thu - dẫn - tiêu nước mưa, bảo vệ nền - áo đường khỏi bị bão hòa nước và xói lở. Tuy nhiên, trượt nông thường mang theo khối lượng lớn đất đá tràn xuống, lấp đầy rãnh thoát nước dọc và thậm chí vùi lấp cả miệng cống, làm cho nước mưa không thoát được. Tại vị trí TL128-034, TL128-023 (3/2024) (Hình 3), đất đá sụt trượt đã tràn xuống lấp rãnh dọc, khiến nước chảy tràn ra mặt đường, ảnh hưởng nghiêm trọng tới khả năng thoát nước và ổn định của nền đường ở khu vực này. Một số trường hợp nặng, trượt lở còn làm gãy đổ hoặc xói trôi công trình thoát nước: như vụ Km9+870 (8/2023) (Hình 4), đất đá sụt trượt đã tràn xuống nền đường và rãnh dọc, đồng thời cuốn trôi hạ lưu cống thoát nước bên taluy âm, làm mất chức năng của cống. Khi rãnh, cống bị tắc nghẽn hoặc hư hỏng, nước mưa sẽ ứ đọng và ngấm vào thân đường, dẫn đến tiếp tục làm yếu nền đường và có thể gây trượt lở tiếp diễn, tạo thành vòng xoáy nguy hiểm.

a) Điểm trượt TL128-034 *b) Điểm trượt TL128-023*

Hình 3. Ảnh hưởng trượt đất tới hệ thống thoát nước dọc tuyến TL128 (chụp 03/2024)

Hình 4. Sụt trượt đất tại Km 9+870 TL128 (Ngày 12/8/2023)

Công trình phụ trợ trên tuyến đường bao gồm tường chắn, kè mái taluy, rào chắn, cọc tiêu, biển báo... cũng chịu tác động khi xảy ra trượt lở. Nếu tuyến đường có tường chắn chân taluy dương (bằng bê tông hoặc rọ đá), các khối trượt nông từ trên cao đổ xuống có thể làm tường chắn bị nứt, đổ. Nhiều trường hợp tường chắn thấp bị đất đá phủ cao quá thiết kế dẫn đến phá hỏng tường chắn hoặc đất tràn qua đỉnh tường xuống đường. Ngoài ra, trượt taluy âm dưới chân đường có thể làm hỏng kết cấu tường chắn chân đường hoặc mái kè bảo vệ taluy âm.

Tuyến TL128 đoạn từ Chăn Nưa đi Sìn Hồ có phân đoạn tuyến từ Km10 tới Km20 có đặc điểm địa hình và địa chất đặc biệt phức tạp nhất. Tuyến đường này đi qua 5 lát xê, cắt qua một khe tụ thủy - khe cạn lớn. Phía thượng lưu khe tụ thủy là vùng thường xuyên xảy ra trượt nông, xảy ra nhiều lần và ngày càng mở rộng phạm vi vùng sụt trượt, đây chính là nguồn cung cấp vật liệu cho khe cạn vào mùa mưa bão. Nước mưa kết hợp với đất đá tạo ra các dòng đất đá đi theo khe tụ thủy gây ảnh hưởng nghiêm trọng tới các vị trí nền đường và đặc biệt cho công trình cầu tại Km10+300.

5. Giải pháp kỹ thuật hạn chế ảnh hưởng của trượt nông

Trên cơ sở kết quả khảo sát và phân tích cơ chế phá hoại của trượt nông với ổn định nền đường tuyến nghiên cứu điển hình, một số giải pháp kỹ thuật đề xuất cần tập trung vào việc kiểm soát chặt chẽ dòng chảy mặt và dòng thấm, đồng thời tăng cường khả năng phòng chống sụt trượt của lớp đất bề mặt, bao gồm:

5.1 Nhóm giải pháp về tiêu thoát nước

Kiểm soát nước mặt và tiêu thoát nước ngầm là giải pháp quan trọng, đặc biệt quan trọng đối với trượt nông thì việc thoát và cắt dòng chảy mặt khi mưa, bởi nước là yếu tố chính làm giảm sức kháng cắt và tăng trọng lượng khối trượt. Yêu cầu luôn duy tu thường xuyên để đảm bảo việc thoát nước tốt hệ thống rãnh dọc, trong đó có các vị trí cống ngang tuyến. Địa hình tuyến nghiên cứu điển hình đặc biệt lưu ý và thận trọng khi lựa chọn giải pháp cắt nước từ lòng khe cạn đi các hướng khác nhau đều là ý tưởng "lợi bất cập hại".

Đặc thù lòng khe cạn tuyến nghiên cứu có độ dốc và lưu vực lớn, có 4 vị trí nền TL128 khe cạn cắt qua, việc thiết kế các giải pháp công trình ngăn giữ tảng đá hay vật liệu, nhằm giảm động năng dòng chảy trên lòng khe cạn khi mưa lớn là quan trọng và cần thiết.

5.2 Nhóm giải pháp ổn định và chống xói bề mặt bờ dốc nền đào

Giải pháp đào bạt mái bờ dốc, tạo bậc kết hợp trồng cây: thực hiện đào bạt mái dốc cục bộ, làm thoải mái dốc về độ dốc an toàn nếu điều kiện cho phép. Sau đó, kết hợp trồng cây bản địa có hệ rễ chùm và ăn sâu để neo giữ lớp đất mặt, đặc biệt tại các vị trí đã bị trượt nông là giảm pháp có thể lựa chọn.

Gia cố bằng lưới thép hoặc lưới địa kỹ thuật kết hợp lưới 3D chống xói và được neo giữ bằng đinh đất ngắn (từ 3m - 5m) để cố định lớp đất bề mặt. Đây là giải pháp hiệu quả về chi phí và thời gian thi công để chống trượt nông.

Tường chắn bê tông, bê tông cốt thép, tường chắn BTCT kết hợp đinh đất và neo, tường chắn bằng đá hộc, rọ đá hoặc bê tông với chiều cao phù hợp.

Tiến hành trám vá và xử lý kịp thời các vết nứt trên lớp phủ bê tông mặt cơ trên bờ dốc (nếu có), hoặc trên mặt đường để ngăn chặn nước mưa thấm xuống bờ dốc hay nền đường, gây bão hòa và làm tăng nguy cơ trượt nông.

Những giải pháp trên cần được áp dụng đồng bộ và linh hoạt tùy theo điều kiện thực tế từng đoạn tuyến, nhằm đảm bảo an toàn giao thông, nâng cao tuổi thọ và khả năng khai thác bền vững của tuyến TL128 đoạn từ Chăn Nưa đi Sìn Hồ trong điều kiện địa hình miền núi phức tạp và thường xuyên chịu ảnh hưởng của thiên tai.

6. Kết luận và kiến nghị

Kết quả khảo sát thực địa và tổng hợp dữ liệu đã khẳng định được trượt nông (độ sâu bề mặt

trượt 1-5 m) là hình thức mất ổn định bờ dốc nền đào chiếm ưu thế trên tuyến đường TL128, đoạn từ Chăn Nưa đi Sìn Hồ, đã gây ra các hư hỏng nền, mặt đường cũng như công trình trên tuyến lặp lại và ngày càng trở nên nghiêm trọng.

Ba nhóm yếu tố ảnh hưởng chính trượt nông gồm địa hình, địa chất và nhóm yếu tố kích hoạt trượt - nước mưa và nước chảy trên mặt khi mưa hay nước ngầm gần mặt trong tầng phủ phong hóa.

Trượt nông gây hư hỏng nền mặt đường thể hiện qua ba nhóm chính như trực tiếp gây lún sụt nền đường; nứt vỡ và biến dạng mặt đường hay phá hủy công trình trên tuyến có tác động yếu tố xói và trượt; vùi lấp, tắc nghẽn hệ thống thoát nước, qua đó làm nổi bật mối liên hệ cơ học giữa hiện tượng trượt và hư hỏng kết cấu.

Trên cơ sở cơ chế phá hoại nền và mặt đường được xác định (chủ yếu do nước), nghiên cứu đã đề xuất một số giải pháp phòng ngừa và xử lý toàn diện, tập trung vào thoát nước và gia cố bảo vệ bề mặt bờ dốc.

Tài liệu tham khảo

Nguyễn Việt Tiệp và nnk, 2023. *Một vài đặc điểm trượt nông bờ dốc nền đường đào trên đường ô tô vùng núi Bắc Bộ*. Kỷ yếu hội nghị khoa học toàn quốc "Địa chất công trình - Địa kỹ thuật và môi trường phục vụ phát triển bền vững" - VIETGEO 2023, Thừa Thiên Huế.

Trần Tân Văn và nnk (2006). *"Khảo sát, đánh giá hiện trạng, nguy cơ trượt lở đất một số đoạn trên tuyến đường Hồ Chí Minh, quốc lộ 1A và đề xuất biện pháp xử lý đảm bảo an toàn giao thông, sản xuất, sinh hoạt của các vùng dân cư.* Báo cáo tổng kết dự án, Viện Nghiên cứu Địa chất và Khoáng sản. Cục Địa chất Việt Nam. Lưu trữ Địa chất, Hà Nội. 156

Trần Tân Văn và nnk (2006). *"Khảo sát, đánh giá hiện trạng, nguy cơ trượt lở đất một số đoạn trên tuyến đường Hồ Chí Minh, quốc lộ 1A và đề xuất biện pháp xử lý đảm bảo an toàn giao thông, sản xuất, sinh hoạt của các vùng dân cư.* Báo cáo tổng kết dự án, Viện Nghiên cứu Địa chất và Khoáng sản. Cục Địa chất Việt Nam. Lưu trữ Địa chất, Hà Nội. 156

Nguyễn Đức Lý, Nguyễn Thanh (2010). *Các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình trượt lở đất đá trên sườn dốc đường giao thông miền núi tỉnh Quảng Bình.* Tạp chí Khoa học, Đại học Huế, Số 59, 2010

Nguyễn Thị Thanh Nhàn (2014). *Nghiên cứu hiện tượng dịch chuyển đất đá trên sườn dốc vùng đồi núi Quảng Trị - Thừa thiên Huế, đề xuất phương pháp dự báo và phòng chống phù hợp.* Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật địa chất, Đại học Mỏ Địa chất.

Đỗ Minh Đức (2020). *Nghiên cứu dự báo nguy cơ tai biến trượt lở mái dốc dọc các tuyến giao thông trọng điểm miền núi tỉnh Quảng Nam và đề xuất giải pháp ứng phó*. Đề tài độc lập cấp nhà nước mã số ĐTĐL.CN- 23/17. Trường Đại học Khoa học Tự nhiên Hà Nội

Đỗ Minh Đức (2022), *Nghiên cứu trượt lở đất đá dọc các tuyến giao thông miền núi tỉnh Quảng Nam*. NXBKHKT.

Huỳnh Thanh Bình (2023). *Nghiên cứu đặc điểm trượt đất đá trên đường Hồ Chí Minh đoạn Đakrông - Thạch Mỹ và luận chứng giải pháp xử lý thích hợp*. Luận án Tiến sĩ, Trường đại học giao thông vận tải.

Duncan, J.M and et al. 2014. Soil Strength and Slope Stability, 2nd, Wiley.

Hungr, O and et al. 2004. The Varnes classification of landslide types, an update. Landslides, Volume 11, 2, pp 167-194.

Meisina, C. 2006. Characterisation of weathered clayey soils responsible for shallow landslides. Natural Hazards and Earth System Science, 6 (5)

Influence of shallow landslides on the stability of road foundations in mountainous areas - a case study of provincial road tl128 from Chan Nua to Sin Ho, Lai Chau province

Nguyen Viet Tiep[1,*], Nguyen Duc Manh[2,*], Mai Sy Hung[1]

[1]Hanoi University of Civil Engineering

[2]University of Transport and Communications

**Corresponding Author: Email: tiepnv@huce.edu.vn; nguyenducmanh@utc.edu.vn*

Abstract

Shallow landslides, where the slip surface is less than 5 m deep, are among the most common types of slope instability. Field investigations by the research group indicate that they account for more than 94.5% of all landslides along the existing mountainous road network in northern Vietnam.

Provincial Road TL128 passes through dissected mountainous terrain, particularly the section from Chan Nua to Sin Ho in Lai Chau Province, where landslides frequently occur. Field surveys along this route show that most of the slope failures on cut slopes have shallow slip surfaces (1-5 m deep). The study results indicate that, although the scale of such landslides is not large, their danger is significant - directly threatening traffic safety and damaging the road foundation. These shallow failures not only alter the topography of the cut slopes but also bury drainage systems, causing water to overflow onto the road surface, destroy pavement layers, and destabilize the subgrade. Furthermore, debris flows generated by these slides can damage embankment slopes, culverts, and bridges along the route.

Keywords: Shallow landslide, roadbed stability, Provincial Road TL128.

ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC - KINH NGHIỆM THẾ GIỚI VỀ QUY HOẠCH, XÂY DỰNG, VẬN HÀNH VÀ KHẢO SÁT ĐỊA KỸ THUẬT

Nguyễn Thành Dương[1,2*], Nguyễn Quang Phích[3]

[1]Trường Đại học Mỏ - Địa chất (HUMG)

[2]Nhóm nghiên cứu Địa chất công trình và Địa môi trường, HUMG

[3]Trường Đại học Văn Lang

**Tác giả liên hệ: Email: nguyenthanhduong@humg.edu.vn*

Tóm tắt

Đường sắt cao tốc (ĐSCT), hay đường sắt tốc độ cao (ĐSTĐC) đã được đề cập đến ở nước ta từ 2010 và hiện tại đang được xúc tiến để có thể triển khai xây dựng trong thời gian tới. Do tuyến đường trải dài từ Bắc vào Nam với các điều kiện địa chất, địa chất thủy văn và địa hình đa dạng, phức tạp, nên cũng đã có dự kiến tuyến đường gồm 60% là cầu cạn, 10% là đường hầm và chỉ có 30% là đường trên mặt đất. Trong bối cảnh nhu cầu phát triển kinh tế, đi lại ngày càng cao, việc triển khai xây dựng ĐSCT là cần thiết và cấp bách. Tuy nhiên, do Việt Nam chưa có kinh nghiệm trong lĩnh vực này, đồng thời còn hạn chế về điều kiện kinh tế, kỹ thuật và công nghệ, nên việc nghiên cứu và học hỏi kinh nghiệm từ các quốc gia đã phát triển hệ thống ĐSCT là hết sức quan trọng. Bài viết này nhằm tổng hợp và giới thiệu sơ bộ một số kinh nghiệm trên thế giới, với kỳ vọng góp phần nhỏ trong việc cung cấp cơ sở tham khảo hữu ích cho quá trình quy hoạch, xây dựng, vận hành và khảo sát địa kỹ thuật, hướng tới phát triển hệ thống ĐSCT ở Việt Nam an toàn và bền vững.

***Từ khóa**:* Đường sắt cao tốc (ĐSCT), kinh nghiệm quốc tế, quy hoạch, xây dựng, vận hành ĐSCT, khảo sát địa kỹ thuật.

1. Mở đầu

Trong bối cảnh nhu cầu phát triển hạ tầng giao thông công cộng ngày càng cấp thiết, đường sắt cao tốc (ĐSCT) được xem là một trong những giải pháp chiến lược nhằm thúc đẩy tăng trưởng kinh tế, kết nối không gian và giảm thiểu tác động môi trường. So với đường sắt thông thường, ĐSCT có tốc độ thiết kế lớn hơn 200km/h và nhiều nước đã khai thác thương mại ở đến vận tốc hơn 300km/h. Nhật Bản là quốc gia đầu tiên trên thế giới đưa vào vận hành tuyến ĐSCT Tokaido Shinkansen từ năm 1964 và duy trì vị trí quốc gia sở hữu mạng lưới ĐSCT lớn nhất thế giới đến năm 2009. Từ năm 2009, Trung Quốc đã vươn lên dẫn đầu khi nước này xây dựng một mạng lưới ĐSCT kết nối các đô thị lớn. Tính đến năm 2025, trên thế giới có gần 60 nghìn km ĐSCT đang được khai thác, cùng với hàng chục nghìn km đang xây dựng, dự kiến xây dựng và quy hoạch (Bảng 1). Các quốc gia phát triển như Nhật Bản, Pháp, Đức, Trung Quốc… đã tích lũy được nhiều kinh nghiệm trong công tác quy hoạch, xây dựng, vận hành hệ thống đường sắt cao tốc, cũng như trong công tác khảo sát địa chất - địa kỹ thuật phục vụ thiết kế nền móng và công trình ngầm. Tại Việt Nam, dự án đường sắt cao tốc (ĐSCT) Bắc - Nam đã được Quốc hội thông qua chủ trương đầu tư tại Nghị quyết số 172/2024/QH15. Theo quy hoạch, tuyến ĐSCT này có chiều dài khoảng 1.541 km, khổ ray đôi tiêu chuẩn 1.435 mm, tốc độ thiết kế tối đa 350 km/h, tải trọng 22,5 tấn/trục; 23 ga hành khách, 05 ga hàng hóa; phương tiện, thiết bị; đường sắt tốc độ cao vận chuyển hành khách, đáp ứng yêu cầu lưỡng dụng phục vụ quốc phòng, an ninh, có thể vận tải hàng hóa khi cần thiết (NQ 172/2024/QH15, ngày 30/11/2024). Trong quy hoạch, nhằm hạn chế tác động chia cắt không gian dân cư, giảm số lượng đường ngang và thích ứng với biến đổi khí hậu, tuyến được dự kiến xây dựng chủ yếu trên cao và trong hầm, chiếm khoảng 70% tổng chiều dài toàn tuyến; còn lại 30% là đường trên mặt đất *(https://giaothong.tapchixaydung.vn/70-tuyen-duong-sat-toc-do-cao-bacnam-di-tren-cao-va-qua-ham-18364183.htm)*. Kinh nghiệm quốc tế cho thấy, quá trình quy hoạch, xây dựng và vận hành ĐSCT không chỉ dựa trên nền tảng công nghệ hiện đại mà còn

gắn liền với công tác khảo sát địa kỹ thuật nhằm bảo đảm tính ổn định, bền vững và an toàn của công trình. Do đó, việc nghiên cứu, tổng hợp và phân tích kinh nghiệm của các quốc gia đi trước trong các lĩnh vực này là cơ sở khoa học quan trọng, góp phần định hướng cho quá trình chuẩn bị và triển khai các dự án đường sắt cao tốc tại Việt Nam trong tương lai.

Bảng 1. *Thống kê ĐSCT trên thế giới tính đến năm 2024*
(https://worldpopulationreview.com/country-rankings/high-speed-rail-by-country)

STT	Quốc gia	Tổng chiều dài (Km)	Đang hoạt động (Km)	Đang xây dựng (Km)	Dự kiến xây dựng (Km)	Quy hoạch (Km)
1.	Trung Quốc	64775	40474	13063	4104	7134
2.	Tây Ban Nha	5579	3661	1055	863	
3.	Nhật Bản	3677	3081	402	194	
4.	Pháp	4460	2735			1725
5.	Đức	2009	1571	147	81	210
6.	Thổ Nhĩ Kỳ	4659	1052	1596	2011	
7.	Phần Lan	1514	1120		394	
8.	Ý	1248	921	327		
9.	Thụy Điển	1412	860	214	338	
10.	Hàn Quốc	922	873	49		
11.	Mỹ	6071	735	274	1278	3784
12.	Ả Rập Xê Út	449	449			
13.	Áo	606	254	281	71	
14.	Ba Lan	1904	224		805	875
15.	Bỉ	209	209			
16.	Ma-rốc	826	186		640	
17.	Thụy Sỹ	176	176			
18.	Indonesia	712		142	570	
19.	Anh	679	113	225	341	
20.	Hà Lan	90	90			
21.	Serbia	388		75	313	
22.	Đan Mạch	56	56			
23.	Ấn Độ	7987		508		7479
24.	Brazil	511				511
25.	Nga	1080		659	421	
26.	Mexico	210			210	
27.	Ai Cập	3375			1570	1805
28.	**Việt Nam**	**1541**			**1541**	
29.	Iran	3104		410	1043	1651
30.	Thái Lan	2642		253	431	1958
31.	Nam Phi	2390				2390
32.	Canada	1523				1523
33.	Úc	1749				1749
34.	Chile	127				127
35.	Cộng Hòa Séc	1005			832	173
36.	Bồ Đào Nha	498		80	418	
37.	Hungary	166			166	
38.	Israel	85			85	
39.	NA Uy	333				333

STT	Quốc gia	Tổng chiều dài (Km)	Đang hoạt động (Km)	Đang xây dựng (Km)	Dự kiến xây dựng (Km)	Quy hoạch (Km)
40.	Latvia	870			870	
41.	Bahrain	180				180
42.	Estonia	870			870	
	Tổng	**132.663**	**58.840**	**19.760**	**20.456**	**33.607**

2. Cấu tạo hệ thống đường ray đường sắt cao tốc

Đối với kết cấu đường ray, hiện nay có hai loại kết cấu phổ biến: kết cấu nền đá dăm và kết cấu bản bê tông cốt thép (bản dầm) (Hình 1). Ở nhiều quốc gia, điển hình như Pháp, kết cấu nền đá dăm (ballast track) được sử dụng rộng rãi. Nền đá dăm có chức năng đỡ tà vẹt và ray, đồng thời phân bố tải trọng tác dụng đều xuống nền đất. Tuy nhiên, kết cấu này đòi hỏi công tác bảo trì thường xuyên, do sự mài mòn và xáo trộn lớp đá dăm dưới tác động rung động của tàu, đặc biệt có thể gây hiện tượng "đá văng". Ngược lại, tại các quốc gia như Đức, Nhật Bản và Đài Loan, kết cấu bản dầm (slab track) được ưu tiên áp dụng cho các tuyến đường sắt cao tốc mới. Loại kết cấu này yêu cầu nền móng phải được thi công với độ chính xác rất cao nhằm đảm bảo không xảy ra lún lệch trong quá trình khai thác. Ưu điểm nổi bật của kết cấu bản dầm là chi phí bảo trì thấp, giúp giảm đáng kể chi phí vận hành; trong điều kiện khai thác bình thường, công tác bảo trì chủ yếu chỉ bao gồm việc thay thế các thanh ray bị mòn. Ngoài ra, đường ray trên bản bê tông thường được thiết kế với tuổi thọ tối thiểu 60 năm.

Hình 1. Kết cấu nền dạng bản bê tông (slab track) và nền đá dăm (ballasted track) (Hu và nnk., 2022)

Một bộ phận quan trọng khác của đường ray ĐSCT là nền đất đắp (Hình 1), đây là dạng công trình phổ biến khi xây dựng ĐSCT qua vùng đồng bằng. Nền đắp bao gồm lớp đắp trên (sub-ballat) và lớp đắp dưới (Subgrade). Đối với kết cấu bản bê tông, lớp đắp trên có chiều dày khoảng 0,4m; còn đối với kết cấu nền đá dăm, lớp này có chiều dày khoảng 0,7m (Bian và nnk., 2018). Lớp đắp trên thường dùng vật liệu đá dăm cấp phối với kích thước hạt lớn nhất nhỏ hơn 60mm. Lớp đất đắp dưới có chiều dày từ 2 đến 3m, thường sử dụng đất cát pha hoặc đất sỏi sạn với kích thước hạt nhỏ hơn 60mm (Tengfei và nnk., 2025). Các yêu cầu kỹ thuật của vật liệu đất đắp subgrade bao gồm môđun biến dạng đàn hồi (K_{30}), môđun động dưới tác dụng của tải trọng tĩnh lặp (E_v) và môđun động dưới tác dụng của tải trọng chu kỳ (E_d) của một số nước trên thế giới được thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. *Giá trị K_{30}, E_v, E_d dùng cho lớp đất đắp ĐSCT ở một số nước (Tengfei và nnk., 2025)*

Quốc gia	K_{30} (Mpa/m)	E_v (MPa)	E_d (Mpa)
Trung Quốc	50÷100	80÷150	100÷200
Nhật Bản	60÷120	100÷180	120÷220
Pháp	40÷80	70÷130	90÷180
Đức	50÷90	80÷140	100÷190

Ngoài kết cấu đường ray và nền đắp, hệ thống đường ray ĐSCT còn có các hợp phần khác như đường đay truyền tải điện, hệ thống tín hiệu. Đường dây truyền tải điện trên không được lắp đặt song song với kết cấu đường ray. Các trạm biến áp dọc theo đường dây chuyển đổi dòng điện từ đường dây cao thế thành dòng điện kéo. Đường dây nhánh cung cấp điện cho đường dây trên không, sau đó được kết nối với giá treo bằng cáp treo. Cấu trúc cáp phức tạp này còn được gọi là hệ thống dây xích, được giữ chặt vào cột đường dây trên không bằng các giá đỡ. Các trạm căng dây đảm bảo đường dây trên không được kéo căng và không bị võng. Tín hiệu cũng là một thành phần quan trọng của hệ thống đường ray ĐSCT. Nó cung cấp thông tin trực quan, duy trì khoảng cách an toàn giữa các tàu, ngăn chặn va chạm, và điều khiển chuyển động của tàu, đảm bảo an toàn và hiệu quả hoạt động cho toàn bộ hệ thống. Hệ thống tín hiệu đường sắt bao gồm nhiều thành phần khác nhau: Tín hiệu dưới mặt đất, tín hiệu trên tàu, biển báo hiệu và pháo hiệu, hiệu lệnh của người điều khiển.

3. Kinh nghiệm về quy hoạch, xây dựng và vận hành ĐSCT trên thế giới

3.1 Khi nào thực sự cần một tuyến ĐSCT

Trong quy hoạch đường sắt cao tốc (ĐSCT), việc quyết định khi nào cần xây dựng một tuyến ĐSCT mới phụ thuộc vào nhiều yếu tố kinh tế - xã hội, kỹ thuật và môi trường. Thông thường, một tuyến ĐSCT mới chỉ thực sự cần thiết khi các điều kiện sau đây hội tụ:

1. Nhu cầu vận tải hành khách vượt ngưỡng năng lực hạ tầng hiện hữu

Khi đường sắt thường, đường bộ, hàng không nội địa không còn đáp ứng được lưu lượng hành khách (thường từ 15-20 triệu hành khách/năm trên một hành lang vận tải). Các phương thức khác bị quá tải, chi phí mở rộng (sân bay, đường cao tốc) quá cao hoặc không hiệu quả.

2. Hành lang vận tải có mật độ dân cư, đô thị lớn

Kết nối giữa các đô thị, siêu đô thị hoặc vùng đô thị tập trung, khoảng cách tối ưu từ 200-800 km (ngắn hơn thì đi ô tô/xe buýt hiệu quả hơn, dài hơn thì hàng không cạnh tranh hơn). Ví dụ: tuyến Tokyo - Osaka (515 km), Paris - Lyon (427 km), hay tuyến Bắc Kinh - Thượng Hải (1.318 km nhưng với mật độ dân cư cực lớn).

3. Yếu tố kinh tế - xã hội

Phù hợp với chiến lược phát triển kinh tế vùng và quốc gia.

Có khả năng tạo động lực tăng trưởng kinh tế, phân bố lại dân cư, phát triển đô thị vệ tinh.

Khi lợi ích kinh tế - xã hội dài hạn > chi phí đầu tư (thường hàng chục tỷ USD).

4. Tính cạnh tranh về thời gian và chi phí

ĐSCT phải rút ngắn thời gian di chuyển so với hàng không và đường bộ. Chi phí vé phải ở mức cạnh tranh với hàng không giá rẻ.

5. Yếu tố môi trường và phát triển bền vững

Khi quốc gia hướng tới giảm phát thải CO_2, giảm phụ thuộc vào hàng không nội địa, hạn chế ùn tắc đường bộ. ĐSCT thường giúp giảm 70-90% lượng khí thải trên mỗi hành khách - km so với máy bay.

6. Khả năng tài chính và nguồn lực

Quốc gia hoặc khu vực có khả năng đầu tư ban đầu rất lớn (đa số dự án ĐSCT > 20-30 tỷ USD). Có khung pháp lý, cơ chế quản lý, và hệ thống tài chính để vận hành và bảo trì tuyến bền vững.

3.2 Kinh nghiệm trong quy hoạch, xây dựng tuyến đường sắt cao tốc

Sau khi quyết định đầu tư xây dựng tuyến đường sắt cao tốc (ĐSCT) mới, công tác quy hoạch và lựa chọn hướng tuyến là bước ưu tiên hàng đầu. Nguyên tắc chung trong quy hoạch là tối thiểu hóa số lượng công trình kỹ thuật phức tạp, song điều này phụ thuộc vào mục tiêu vận tải. Đối với vận tải hàng hóa đơn thuần, việc đào đắp thường chỉ nhằm khắc phục các biến đổi địa hình. Tuy

nhiên, trong trường hợp kết hợp vận tải hành khách và hàng hóa, tuyến đường cần được thiết kế với độ bằng phẳng cao hơn để đảm bảo yêu cầu khai thác. Ngoài yếu tố kỹ thuật, quy hoạch tuyến cần tránh đi qua khu vực đông dân cư, bởi việc xây dựng và tiếng ồn phát sinh trong quá trình khai thác có thể ảnh hưởng tiêu cực đến cộng đồng, đồng thời làm gia tăng nguy cơ khiếu kiện, gây chậm trễ tiến độ dự án.

Bên cạnh đó, vấn đề bảo tồn thiên nhiên cũng cần được quan tâm khi đầu tư xây dựng ĐSCT. Nhiều kinh nghiệm quốc tế cho thấy các tuyến ĐSCT thường được bố trí song song hoặc gần với hệ thống đường cao tốc nhằm hạn chế cắt ngang cảnh quan tự nhiên. Trường hợp tuyến đi qua khu vực có hệ sinh thái nhạy cảm, các biện pháp như di dời loài động thực vật quý hiếm, tái trồng rừng hoặc tạo sinh cảnh thay thế thường được áp dụng để giảm thiểu tác động môi trường, hướng tới một hệ thống "đường sắt xanh". Một nội dung quan trọng khác trong giai đoạn chuẩn bị là ước tính chi phí đầu tư. Việc đánh giá tài chính đóng vai trò quyết định đối với tính khả thi của dự án; chỉ khi có sự đảm bảo nguồn vốn từ ngân sách nhà nước hoặc nhà đầu tư, dự án mới có thể được triển khai nhằm tránh tình trạng thiếu hoặc chậm giải ngân trong quá trình thi công.

Kinh nghiệm quốc tế cho thấy việc quy hoạch ĐSCT cần gắn liền với phát triển vùng. Để tối đa hóa lợi ích, cần phải tổ chức lại mạng lưới giao thông công cộng khu vực (TOD) để kết nối hiệu quả các ga ĐSCT với trung tâm thành phố và các khu chức năng khác, khuyến khích chuyển đổi từ phương tiện cá nhân sang giao thông công cộng (Jica, 2019).

Hiện nay, việc mở rộng các tuyến đường sắt cao tốc (ĐSCT) trên toàn thế giới đang ngày càng gia tăng. Mạng lưới lớn nhất hiện nay nằm ở Trung Quốc, tiếp theo là Tây Ban Nha, Nhật Bản, Pháp và Ý; các tuyến mới đang được xây dựng tại Marốc và Ả Rập Xê Út. Mục tiêu của các tuyến mới được xây dựng là giảm đáng kể khoảng cách thời gian giữa các nhà ga đường sắt cực đại bằng cách can thiệp vào hai thành phần chính của yếu tố cơ bản: khoảng cách và tốc độ. Kết quả nghiên cứu của Russo và nnk. trên của một số tuyến ĐSCT ở châu Âu cho thấy với khoảng cách di chuyển từ 500 đến 1.000km, ĐSCT có khả năng cạnh tranh cao so với đường hàng không. Ví dụ, với khoảng cách thẳng là 500km, khi sử dụng ĐSCT sẽ mất thời gian khoảng 3 giờ; trong khi sử dụng đường hàng không (máy bay) sẽ mất trung bình khoảng 3,5 giờ (bao gồm thời gian di chuyển ra/vào sân bay, thời gian làm thủ tục và thời gian bay) (Russo và nnk., 2025).

Việc quyết định xây dựng ĐSCT ở mỗi quốc gia có mục tiêu và động lực khác nhau (Jica, 2019). Tại Nhật Bản, việc xây dựng các tuyến ĐSCT Shinkansen nhằm đáp ứng nhu cầu đi lại do tăng trưởng kinh tế nhanh chóng, giải quyết tắc nghẽn năng lực vận tải và giảm thời gian di chuyển giữa các thành phố lớn. Tại Pháp, các tuyến ĐSCT được xây dựng nhằm cải thiện khả năng cạnh tranh của đường sắt so với vận tải đường bộ và hàng không, bắt đầu từ tuyến Paris-Lyon. Tại Đức, các tuyến ĐSCT được xây dựng nhằm hình thành hành lang vận tải hàng hóa kết nối các khu công nghiệp phía nam từ cảng biển phía bắc; sau này là kết nối đông-tây. Gần đây, tại Trung Quốc, các tuyến ĐSCT được xây dựng nhằm hiện đại hóa giao thông, cải thiện năng suất kinh tế, tăng năng lực vận tải hàng hóa và giảm tắc nghẽn đường bộ.

3.3 Kinh nghiệm về quản lý, vận hành ĐSCT

Trong nhiều nước có hệ thống ĐSCT, Nhật Bản là một trong những quốc gia có nhiều kinh nghiệm trong việc quản lý, vân hành hệ thống Shinkansen hiệu quả và đúng giờ. Năm 1972, Công ty Đường sắt Quốc gia Nhật Bản bắt đầu triển khai hệ thống kiểm soát tuyến đường được lập trình nhằm đồng bộ hóa lịch trình vận hành. Theo thời gian, nhiều công nghệ hiện đại hơn đã được ứng dụng, tiêu biểu là Hệ thống kiểm soát vận hành giao thông phân tán tự động (ATOS) và Hệ thống quản lý vận hành, bảo trì và an toàn tàu Shinkansen bằng máy tính (COSMOS) (https://vnexpress.net/nhung-cong-nghe-giup-tau-nhat-ban-den-dung-gio-4933706.html). ATOS do Công ty Đường sắt Đông Nhật Bản (JR East) vận hành, được sử dụng để điều tiết lưu lượng tàu trên các tuyến ở khu vực đô thị Tokyo. Hệ thống này do Hitachi phát triển và lần đầu tiên triển khai trên tuyến Chuo vào năm 1997, đến nay đã được áp dụng trên 14 tuyến đường sắt trong nước. Tại các ga thuộc mạng lưới ATOS, hành khách có thể theo dõi màn hình điện tử hiển thị thời gian

đến, điểm đến của tàu bằng cả tiếng Nhật và tiếng Anh, đồng thời nhận cảnh báo khi tàu đến hoặc đi qua, cũng như thông báo về sự cố, chậm trễ hay nhắc nhở cấm hút thuốc. Bên cạnh đó, hệ thống còn hỗ trợ lái tàu qua các tín hiệu đèn ma trận, cung cấp chỉ dẫn về việc tăng tốc, giảm tốc hay điều chỉnh thời gian khởi hành, giúp toàn bộ mạng lưới vận hành chính xác theo lịch trình. Trong khi đó, COSMOS - một hệ thống quy mô lớn do JR East đưa vào hoạt động năm 1995 - bao gồm khoảng 500 máy tính và thiết bị đầu cuối kết nối trong mạng lưới, phân bổ tại nhiều hệ thống con và văn phòng liên quan đến Shinkansen. Điểm nổi bật của COSMOS là khả năng tích hợp và phối hợp đồng bộ các hệ thống con thiết yếu như: lập kế hoạch vận tải, kiểm soát vận hành, quản lý bảo trì, giám sát điện năng, điều hành tập trung, quản lý phương tiện và bãi tàu.

Hiện nay, Trung Quốc là quốc gia đang vận hành các tuyến ĐSCT lớn nhất thế giới, chiếm gần 70% chiều dài các tuyến ĐSCT trên thế giới (Bảng 1). Đáng chú ý, Trung Quốc hiện là quốc gia duy nhất trên thế giới vận hành thương mại đường sắt cao tốc ở tốc độ 350 km/h. Việc phát triển hệ thống đường sắt tốc độ cao đã được Trung Quốc hoạch định cách đây khoảng 20 năm và được triển khai quyết liệt từ năm 2003. Chính phủ nước này ban hành chính sách phát triển theo định hướng tiếp thu và ứng dụng công nghệ tiên tiến, đồng thời kết hợp thiết kế, sản xuất với các doanh nghiệp trong nước, trên cơ sở yêu cầu bắt buộc về chuyển giao công nghệ. Tháng 6/2004, Bộ Đường sắt Trung Quốc tổ chức đấu thầu công khai cho tuyến đường sắt cao tốc đầu tiên, với tốc độ thiết kế trên 200 km/h. Kết quả cho thấy chỉ có bốn tập đoàn quốc tế đáp ứng được tiêu chuẩn kỹ thuật, bao gồm Siemens (Đức), Kawasaki Heavy Industries (Nhật Bản), Bombardier (Canada) và Alstom (Pháp). Sau đó, Trung Quốc đã tiến hành mua lại công nghệ đường sắt cao tốc từ các quốc gia này với mục tiêu từng bước nội địa hóa, hướng tới đạt tỷ lệ sản xuất trong nước khoảng 75% (https://vovgiaothong.vn/newsaudio/trung-quoc-va-kinh-nghiem-phat-trien-duong-sat-cao-toc-d46070.html).

4. Vấn đề khảo sát địa kỹ thuật khi xây dựng đường sắt cao tốc

4.1 Các vấn đề địa kỹ thuật khi xây dựng ĐSCT

Một trong những vấn đề địa kỹ thuật phổ biến ảnh hưởng đến ổn định của ĐSCT là biến dạng lún của nền đường ray. Do ĐSCT có yêu cầu rất nghiêm ngặt về độ bằng phẳng của đường ray, nên độ lún cục bộ không đồng đều giữa các khu vực khác nhau sẽ ảnh hưởng rất lớn đến quá trình vận hành của ĐSCT. Yêu cầu về độ lún nền đường ray ĐSCT theo tiêu chuẩn ở một số nước trên thế giới được thể hiện trong bảng 3 (Tengfei và nnk., 2025). Có thể thấy, các yêu cầu về độ lún giới hạn của nền đường đắp cũng như độ lún lệch là rất nghiêm ngặt. Trong đó, nền đắp cho kết cấu ray dạng bản bê tông (slab track) có yêu cầu về độ lún giới hạn nhỏ hơn so với kết cấu ray đá dăm (ballast track). Do đó, việc xây dựng ĐSCT trên nền đất yếu rất khó khăn về mặt kỹ thuật và tốn kém về mặt chi phí, đặc biệt là chi phí xử lý nền đất yếu. Ngoài ra, công tác khảo sát địa kỹ thuật khi xây dựng ĐSCT trên nền đất yếu cũng đòi hỏi chi phí lớn nhằm bảo đảm độ tin cậy cho thiết kế. Trên thế giới, nhiều giải pháp xử lý nền đất yếu đã được áp dụng cho công trình ĐSCT, bao gồm: bấc thấm kết hợp đắp gia tải hoặc hút chân không (PVD), cọc đá dăm, cọc đất xi măng (DCM), cọc CFG (xi măng-tro bay-sỏi sạn), hay giải pháp cải tạo nông như thay đất, đầm chặt (Tengfei và nnk., 2025; Zhou và nnk., 2020).

Ngoài biến dạng lún, lún lệch của nền ĐSCT, trong quá trình xây dựng và vận hành ĐSCT còn có thể phát sinh nhiều vấn đề địa kỹ thuật phức tạp khác như ổn định của mái taluy nền đắp, trượt lở mái dốc khi ĐSCT đi qua vùng đồi núi, sự phát sinh áp lực nước lỗ rỗng trong nền đắp dưới tác dụng của tải trọng động do tàu chạy và có thể dẫn đến hiện tượng hóa lỏng nền, hay các vấn đề liên quan đến hầm ĐSCT như sụt lở vách hầm, gương hầm…

Bảng 3. *Quy định về độ lún nền đắp ĐSCT ở một số nước (Tengfei và nnk., 2025)*

Quốc gia	Nền đắp cho kết cấu ray đá ballast (Ballasted track)	Nền đắp cho kết cấu ray dạng bản bê tông (Slab track)
Trung Quốc	+ Độ lún sau khi thi công: ≤ 50-100mm + Độ lún ở khu vực chuyển tiếp (ví dụ giữa cầu và đường đắp): ≤ 3cm + Tốc độ lún: ≤ 2cm/năm + Độ lún lệch: ≤ 1/1000 (<0,1%)	+ Độ lún sau khi thi công: ≤ 15-30mm + Độ lún lệch: ≤ 1/1000 (không vượt quá 0,1%)
Nhật Bản	+ Độ lún sau khi thi công: ≤ 50-100mm	+ Độ lún sau khi thi công: ≤ 15-30mm
Pháp	+ Độ lún sau khi thi công: ≤ 20-30mm	+Độ lún sau khi thi công: ≤ 15-30mm

4.2 Công tác khảo sát địa kỹ thuật cho ĐSCT

Trong quá trình quy hoạch và xây dựng tuyến đường sắt cao tốc (ĐSCT), công tác khảo sát và đánh giá địa kỹ thuật đóng vai trò đặc biệt quan trọng. Tuyến ĐSCT thường kéo dài qua nhiều vùng khí hậu, điều kiện địa hình, địa chất, địa chất thủy văn và môi trường khác nhau. Do đó, tuyến có thể đi qua nhiều loại công trình và kết cấu như nền đắp, nền đào, cầu cạn, cầu qua sông và đường hầm nhằm bảo đảm tính liên tục và hiệu quả khai thác. Mỗi loại hình công trình lại đặt ra những yêu cầu khảo sát địa kỹ thuật khác nhau. Chẳng hạn, đối với nền ĐSCT đắp trên đất yếu, cần tập trung xác định đặc trưng cấu trúc và các chỉ tiêu cơ lý đặc thù của đất yếu để phục vụ thiết kế xử lý nền.

Về phương pháp khảo sát, ngoài các công tác khoan thăm dò và thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn (SPT) thông thường, cần có thêm các thí nghiệm hiện trường như: đo địa vật lý, xuyên tĩnh đo áp lực nước lỗ rỗng (CPTu), xuyên địa chấn (SCPT), nén ngang (PMT, DMT), cắt cánh hiện trường (VST),… Trong phòng thí nghiệm, ngoài các thí nghiệm cơ bản, cần tiến hành thêm các thí nghiệm chuyên biệt như: nén 3 trục (UU, CU, CD), thí nghiệm cố kết, thí nghiệm 3 trục động để đánh giá các chỉ tiêu động học của đất (môđun cắt động, hệ số giảm chấn, khả năng hóa lỏng).

Hiện nay, Việt Nam chưa có tiêu chuẩn khảo sát địa kỹ thuật riêng cho ĐSCT, trong khi đây là loại công trình đòi hỏi yêu cầu kỹ thuật rất cao. Do đó, việc xây dựng hệ thống tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN) về khảo sát địa kỹ thuật cho ĐSCT là cần thiết. Quá trình xây dựng tiêu chuẩn nên tham khảo và kế thừa kinh nghiệm từ các hệ thống tiêu chuẩn đã phát triển ở các quốc gia có nhiều kinh nghiệm trong lĩnh vực này, điển hình như Nhật Bản, Trung Quốc, Pháp và Đức.

5. Kết luận

Trên cơ sở tổng hợp các thông tin và kinh nghiệm quốc tế, có thể rút ra một số nhận định sau:

Việt Nam hiện chưa có kinh nghiệm trong xây dựng và vận hành đường sắt cao tốc (ĐSCT). Do đó, việc nghiên cứu, tiếp thu các kinh nghiệm quốc tế từ khâu quy hoạch, khảo sát, đánh giá địa kỹ thuật, thiết kế, thi công đến khai thác, vận hành là hết sức cần thiết.

Kinh nghiệm quốc tế cho thấy, các quốc gia đã có hệ thống ĐSCT đều phải trải qua quá trình học hỏi, trao đổi kinh nghiệm, thậm chí thuê tư vấn và giám sát từ nước ngoài. Đây là bước đi tất yếu trong quá trình phát triển.

Đối với công tác khảo sát và đánh giá địa kỹ thuật, cần thiết phải xây dựng hệ thống tiêu chuẩn riêng cho Việt Nam, phục vụ thiết kế và thi công ĐSCT. Việc xây dựng bộ tiêu chuẩn này nên được thực hiện trên cơ sở tham khảo và chọn lọc từ các hệ thống tiêu chuẩn tiên tiến của Nhật Bản, Trung Quốc và một số quốc gia châu Âu như Đức, Pháp.

Tài liệu tham khảo

Cơ quan hợp tác quốc tế Nhật Bản (Jica)., 2019. Báo cáo Khảo sát thu thập dữ liệu trên dự án đường sắt tốc độ cao bắc-nam tại cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam

https://vnexpress.net/nhung-cong-nghe-giup-tau-nhat-ban-den-dung-gio-4933706.html

https://worldpopulationreview.com/country-rankings/high-speed-rail-by-country

https://vovgiaothong.vn/newsaudio/trung-quoc-va-kinh-nghiem-phat-trien-duong-sat-cao-toc-d46070.html

https://giaothong.tapchixaydung.vn/70-tuyen-duong-sat-toc-do-cao-bacnam-di-tren-cao-va-qua-ham-18364183.htm

Bian, X., Li, W., Hu, J., Liu, H., Duan, X., Chen, Y., 2018. Geodynamics of high-speed railway. Transportation Geotechnics 17, 69-76.

Hu, J., Wu, Y., Bian, X., Chen, Y., 2022. Investigations into the Critical Speeds in Ballasted and Ballastless Track, in: Tutumluer, E., Nazarian, S., Al-Qadi, I., Qamhia, I.I.A. (Eds.), Advances in Transportation Geotechnics IV, Lecture Notes in Civil Engineering. Springer International Publishing, Cham, pp. 473-481. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77234-5_39

Nghị quyết số 172/2024/QH15 (ngày 30/11/2024). Nghị quyết về Chủ trương đầu tư dự án đường sắt tốc độ cao trên trục Bắc - Nam

Russo, F., Rindone, C., Maiolo, G.A., 2025. High-Speed Railway Planning for Sustainable Development: The Role of Length Between Conventional Line and Straight Length. Future Transportation 5, 68.

Tengfei, W., Chau, L.N., Tien, T.B., 2025. Overview of advances and practices in high-speed railway earth structures in China. Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải 76, 405-419.

Zhou, S., Wang, B., Shan, Y., 2020. Review of research on high-speed railway subgrade settlement in soft soil area. Rail. Eng. Science 28, 129-145. https://doi.org/10.1007/s40534-020-00214-x

High-speed railways - World experience in planning, construction, operation and geotechnical survey

Nguyen Thanh Duong[1,2*], Nguyen Quang Phich[3]

[1]Hanoi University of Mining and Geology,

[2]Research Group of Engineering Geology and Geoenvironment (HUMG)

[3]Van Lang University

**Corresponding author: Email: nguyenthanhduong@humg.edu.vn*

Abstract

High-speed railway (HSR) has been mentioned in our country since 2010 and is currently being promoted for possible construction in the near future. Because the route stretches from North to South with diverse and complex geological, hydrogeological and topographical conditions, it is expected that the route will consist of 60% viaducts, 10% tunnels and only 30% surface roads. In the context of increasing economic development and travel needs, the implementation of HSR construction is essential. However, due to lack of experience, insufficient economic conditions, and limited techniques and technology, learning from world experience is essential. This article summarizes and briefly introduces some experiences in the world with the hope of making a small, useful contribution to the process of planning, construction, operation and geotechnical survey to serve the safe and sustainable development of the HSR system in our country.

***Keyword**:* High-speed railway (HSR), world experience, planning, construction, operartion, geotechnical investigation.

THÀNH LẬP BẢN ĐỒ SỬ DỤNG ĐẤT CHO KHU VỰC XÃ SỐP CỘP, TỈNH SƠN LA PHỤC VỤ ĐÁNH GIÁ NGUY CƠ TRƯỢT LỞ DỰA TRÊN DỮ LIỆU VIỄN THÁM VÀ GIS

Dương Văn Bình[1,2*], Phạm Thị Việt Nga[1,2], Phạm Thị Ngọc Hà[1,2]

[1]Trường Đại học Mỏ - Địa chất

[2]Nhóm nghiên cứu Địa chất công trình và Địa môi trường, Trường Đại học Mỏ - Địa chất

**Tác giả liên hệ: Email: duongvanbinh@humg.edu.vn*

Tóm tắt

Đối với các đánh giá nguy cơ trượt lở đã được thực hiện tại Việt Nam và trên thế giới, sử dụng đất là một yếu tố quan trọng, được lập bản đồ và phân loại tùy thuộc vào khu vực nghiên cứu. Trong bài báo này, một bản đồ sử dụng đất của khu vực xã Sốp Cộp, tỉnh Sơn La đã được thành lập. Dữ liệu sử dụng lập bản đồ là các ảnh vệ tinh Landsat8 được tải từ nguồn dữ liệu mở, được xử lý và phân loai trong môi trường GIS bằng phần mềm Erdas và ArcGIS. Kết quả là bản đồ sử dụng đất khu vực nghiên cứu đã được thành lập và diện tích phân loại được phân chia thành các nhóm đất chính, bao gồm: (1) Mặt nước, (2) Khu dân cư, (3) Đất rừng, (4) Rừng thưa, (5) Đất trống và (6) Đất nông nghiệp. Mức độ chính xác của bản đồ thu được được đánh giá dựa vào chỉ số Kappa = 0,76 và hiệu suất tổng thể OA = 80%. Các kết quả tính toán cho thấy hiệu suất phân loại tốt và bản đồ phù hợp để sử dụng trong các phân tích tiếp theo. Đồng thời, phân tích thống kê cho khu vực nghiên cứu đã chỉ ra, tần suất trượt lở lớn nhất tại các khu vực dân cư (1,92) và khu vực đất nông nghiệp (3,24), thể hiện rõ tác động của các hoạt động nhân sinh đến sự phát triển trượt lở. Các kết quả thu được là cơ sở quan trọng và là nguồn dữ liệu đầu vào cho các nghiên cứu trượt lở cho khu vực nghiên cứu.

Từ khóa: Sử dụng đất, trượt lở, Landsat 8, GIS, Sốp Cộp, Sơn La.

1. Đặt vấn đề

Trượt lở là một dạng thiên tai xảy ra rất phổ biến tại các khu vực miền núi của Việt Nam, chịu ảnh hưởng bởi tương tác phức tạp của môi trường địa chất và các yếu tố môi trường - kỹ thuật và có thể gây ra nhiều tác động tiêu cực đến sự phát triển bền vững lãnh thổ (Tien và nnk., 2025; Viet Du và nnk., 2023). Để tiến hành các nghiên cứu đánh giá nguy cơ thiên tai cho các khu vực có tính nhạy cảm cao, các nhà nghiên cứu cần thu thập nhiều nguồn dữ liệu khác nhau để xây dựng các bản đồ thành phần cho các yếu tố chính liên quan đến thiên tai đó. Các yếu tố liên quan có thể được phân loại thành các nhóm khác nhau dựa trên đặc điểm và nguồn gốc gây ra tác động đối với sự mất ổn định sườn dốc, ví dụ như các yếu tố địa hình địa mạo, các yếu tố địa chất, các yếu tố khí hậu, các yếu tố thủy văn và các yếu tố nhân sinh (Douvà nnk., 2015; Peng và nnk., 2023). Trong nhóm các yếu tố nhân sinh, sử dụng đất được đánh giá là một yếu tố có vai trò quan trọng đối với sự phát sinh trượt lở (Nguyen Huu và nnk., 2024). Bản đồ sử dụng đất giúp phân loại trực quan và thể hiện sự biến đổi về phân bố các nhóm đất khác nhau theo thời gian tương ứng với quá trình khai thác lãnh thổ tại một khu vực bất kỳ. Sự thay đổi diện tích sử dụng đất đồng thời cũng liên quan chặt chẽ đến các yếu tố khác như mạng lưới đường giao thông, mật độ nhà cửa, … do đó tác động trực tiếp đến nguy cơ thiên tai tại khu vực đó.

Lịch sử xây dựng các bản đồ sử dụng đất ban đầu gắn liền chặt chẽ với các hoạt động khảo sát, đo vẽ tại hiện trường. Tuy nhiên, sự ra đời của công nghệ viễn thám và GIS đã thay đổi hoàn toàn cách thức, phương pháp, cũng như gia tăng đáng kể số lượng các bản đồ sử dụng đất ở các quy mô khác nhau và đa dạng về độ phân giải. Tuy có những sự phát triển về kỹ thuật, công nghệ, chất lượng dữ liệu vệ tinh, vẫn tồn tại những "sự không chắc chắn" nhất định trong quá trình thành lập các bản đồ này. Do đó, các đánh giá xác thực tính chính xác của bản đồ so với điều kiện thực tế là hết sức cần thiết, làm cơ sở để sử dụng cho các nghiên cứu tiếp theo.

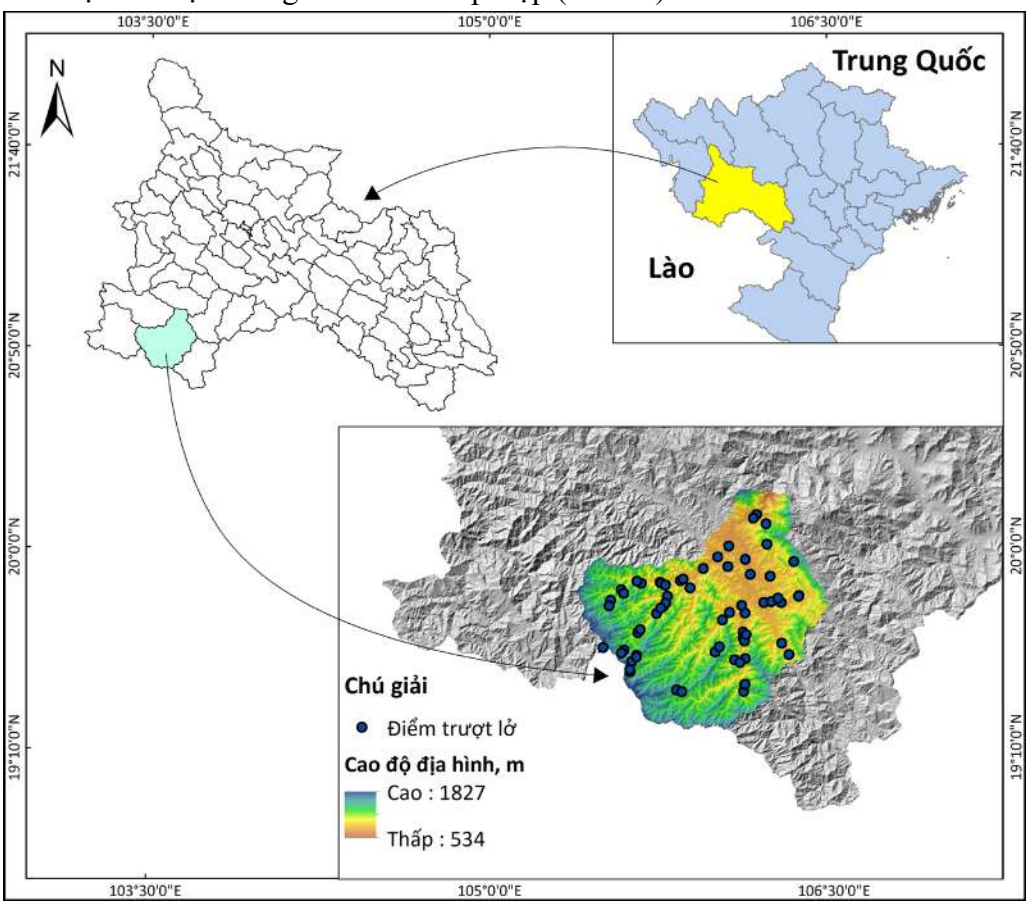
Sốp Cộp là một xã với địa hình đồi núi chiếm ưu thế, có diện tích lớn nhất trong các xã của

tỉnh Sơn La sau sáp nhập. Xã Sốp Cộp hiện nay và huyện Sốp Cộp trước đây là một điểm nóng tại tỉnh Sơn La về nguy cơ trượt lở đất đá. Do đó, việc xác định các yếu tố ảnh hưởng và xây dựng bản đồ phân vùng nguy cơ trượt lở đất cho khu vực này là rất cấp bách. Trong nghiên cứu này, một bản đồ sử dụng đất đã được thành lập cho khu vực xã Sốp Cộp, tỉnh Sơn La. Các dữ liệu đầu vào được thu thập từ nguồn dữ liệu ảnh vệ tinh miễn phí của USGS, sau đó được xử lý và phân loại trong môi trường GIS. Bản đồ sản phẩm sau đó được phân chia thành các nhóm sử dụng đất khác nhau và được đánh giá độ chính xác dựa trên hệ số Kappa và hiệu suất phân loại tổng thể.

2. Khu vực nghiên cứu

Nằm ở khu vực Tây Bắc Việt Nam với diện tích khoảng 14.109 m^2, Sơn La là một trong những tỉnh có diện tích lớn nhất Việt Nam với phần lớn diện tích tự nhiên là địa hình đồi núi. Về vị trí địa lý, Sơn La giáp với các tỉnh Lào Cai và Lai Châu ở phía Bắc, Phú Thọ ở phía Đông, Điện Biên ở phía Tây, Thanh Hóa ở phía Nam, và các tỉnh Huaphanh, Luangprabang của Lào. Theo Nghị quyết số 1681/NQ-UBTVQH15 năm 2025, sau khi sắp xếp, tỉnh Sơn La có 75 đơn vị hành chính cấp xã, bao gồm 67 xã và 08 phường. Xã Sốp Cộp sau sáp nhập nằm ở phía Tây Nam tỉnh Sơn La, có diện tích khoảng 467 km^2, dân số khoảng 24.086 người.

Với đặc trưng địa hình đồi núi nhiều sườn dốc và lượng mưa trung bình năm tương đối lớn, tập trung vào các tháng mùa hè, kết hợp với các yếu tố khác, Sơn La cũng là một khu vực tương đối thuận lợi cho sự phát triển của các quá trình sườn dốc trong đó có trượt lở. Theo báo cáo Điều tra, đánh giá và phân vùng cảnh báo nguy cơ trượt lở đất đá các vùng miền núi Việt Nam của Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản Việt Nam, 1.561 điểm trượt lở đã được thống kê cho toàn tỉnh và 65 điểm trượt lở được thống kê cho xã Sốp Cộp (Hình 1).



Hình 10. Vị trí khu vực nghiên cứu

3. Dữ liệu và phương pháp

3.1 Phương pháp

Phương pháp phân loại xác suất cực đại (Maximum Likelihood Classification - MLC): Nghiên cứu được thực hiện đã triển khai phương pháp phân loại xác suất cực đại làm phương pháp phân loại để thành lập bản đồ sử dụng đất cho khu vực nghiên cứu. Bằng cách đánh giá định lượng phương sai và hiệp phương sai của các mẫu phản xạ phổ khi phân loại một điểm ảnh không xác định, phân loại xác suất cực đại được coi là một trong những bộ phân loại chính xác nhất do dựa vào các tham số thống kê (Shalaby & Tateishi, 2007). Bộ phân loại xác suất cực đại hoạt động bằng cách huấn luyện máy tính nhận dạng các dải giá trị pixel với bản đồ sử dụng đất và kiến thức về khu vực nghiên cứu. Theo nghiên cứu của Hasyim Abdul Wahid và nnk. (2011), công thức xác suất cực đại được trình bày như sau:

$$p(x_i|w_j) = \frac{1}{\sqrt{2\pi^p}\sqrt{|C_j|}} \exp\left(-\frac{1}{2}x(x_i - \mu_i)^T x C_j^{-1} x (x_i - \mu_j)\right) \quad (1)$$

Trong đó,

C_j là ma trận hiệp phương sai của lớp w_j với chiều p

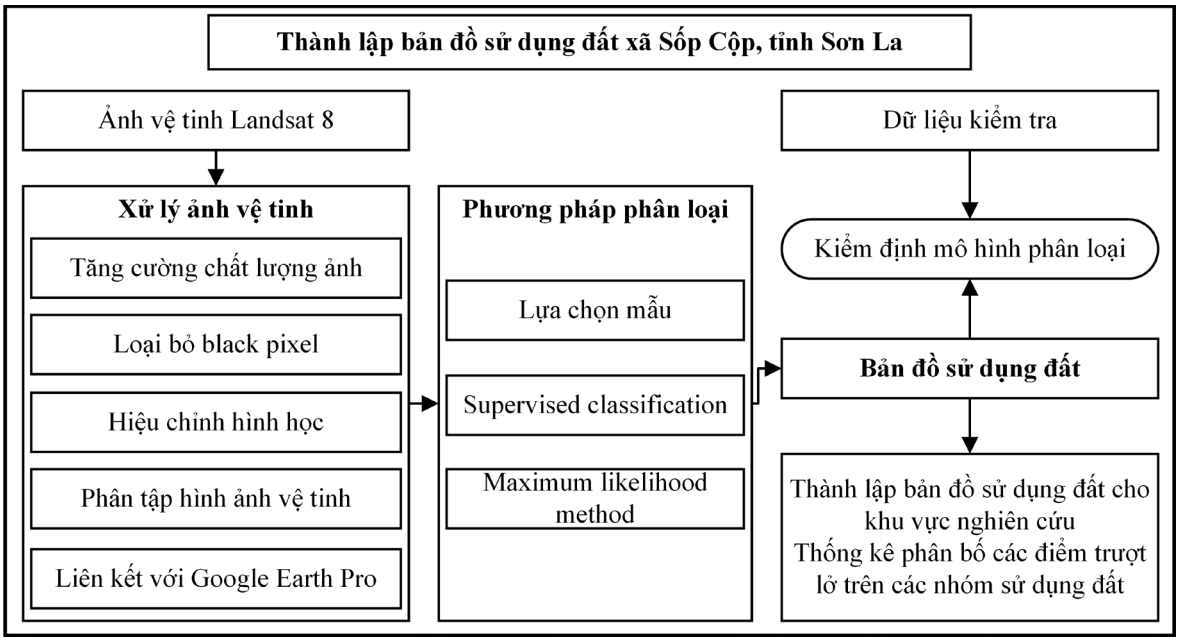
μ_j là vectơ trung bình của lớp w_j

|x| là biểu thị định thức

$P(x_i|w_i)$ là xác suất cùng tồn tại (hoặc giao điểm) của các biến cố x và w

$(x_i - \mu_i)^T$ là vectơ chuyển vị $(x_i - \mu_i)$

Trong thuật toán phân loại MLC đối với khu vực nghiên cứu, mỗi pixel trên ảnh được chỉ định vào một trong 6 loại tương ứng như sau: (1) Đất rừng; (2) Đất nông nghiệp; (3) Rừng thưa; (4) Đất trống; (5) Khu dân cư; và (6) Mặt nước.



Hình 11. Sơ đồ thành lập bản đồ sử dụng đất cho khu vực nghiên cứu

Sau khi quá trình phân loại các pixel hoàn thành, một nhiệm vụ quan trọng là cần phải tiến hành đánh giá hiệu suất phân loại hay mức độ chính xác của bản đồ sử dụng đất được thành lập. Công tác này thường được tiến hành bằng cách so sánh bản đồ sử dụng đất phân loại và bản đồ tham chiếu và đánh giá mức độ tương đồng tại các điểm xác thực. Hiện nay, các nghiên cứu có thể sử dụng đa dạng các phương pháp và chỉ số khác nhau được phát triển để đánh giá hiệu suất phân loại. Trong nghiên cứu này, độ chính xác tổng thể (Overall accuracy - OA) và hệ số Kappa (Kappa

coefficient - K) - hai thước đo phổ biến độ chính xác tổng thể của các bản đồ chuyên đề (Bofana và nnk., 2020; Gülci và nnk., 2025) đã được sử dụng. Công thức tính toán hai đại lượng này được trình bày như sau (Ramachandra và nnk., 2023):

$$OA = \frac{\text{Tổng số điểm ảnh được phân loại chính xác}}{\text{Tổng số điểm ảnh tham chiếu}} \quad (1)$$

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^{r} x_{ii} - \sum_{i=1}^{r} (x_{i+} \times x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^{r} (x_{i+} \times x_{+i})} \quad (2)$$

Trong đó:

r biểu thị số hàng trong ma trận lỗi

x_{ii} biểu thị số quan sát ở hàng i và cột i

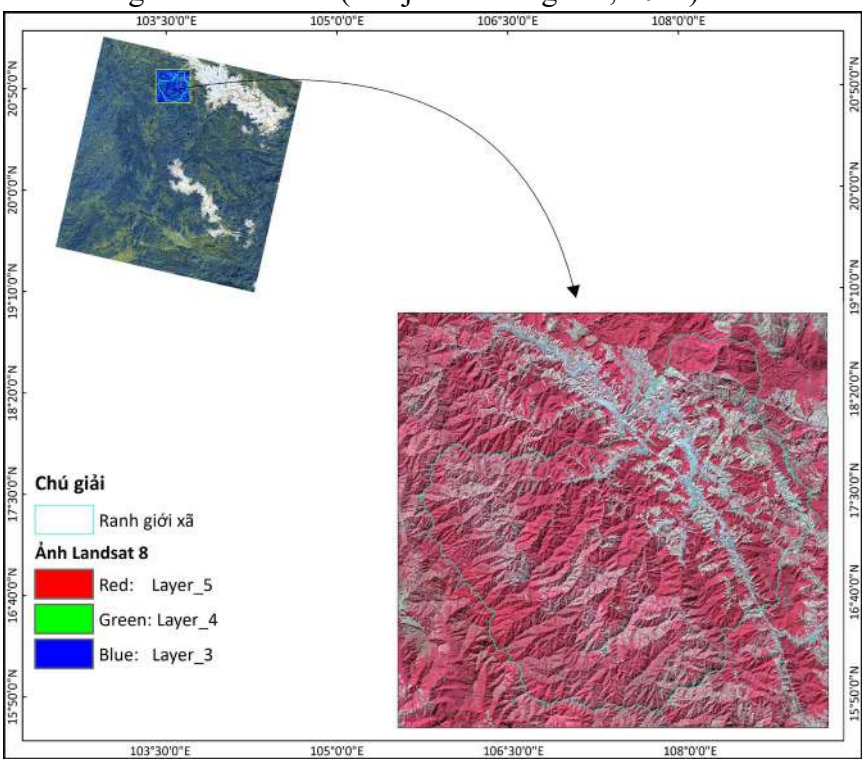
x_{i+} biểu thị tổng số quan sát ở hàng i

x_{+i} biểu thị tổng số quan sát ở cột i

N biểu thị tổng số quan sát có trong ma trận.

3.2 Dữ liệu

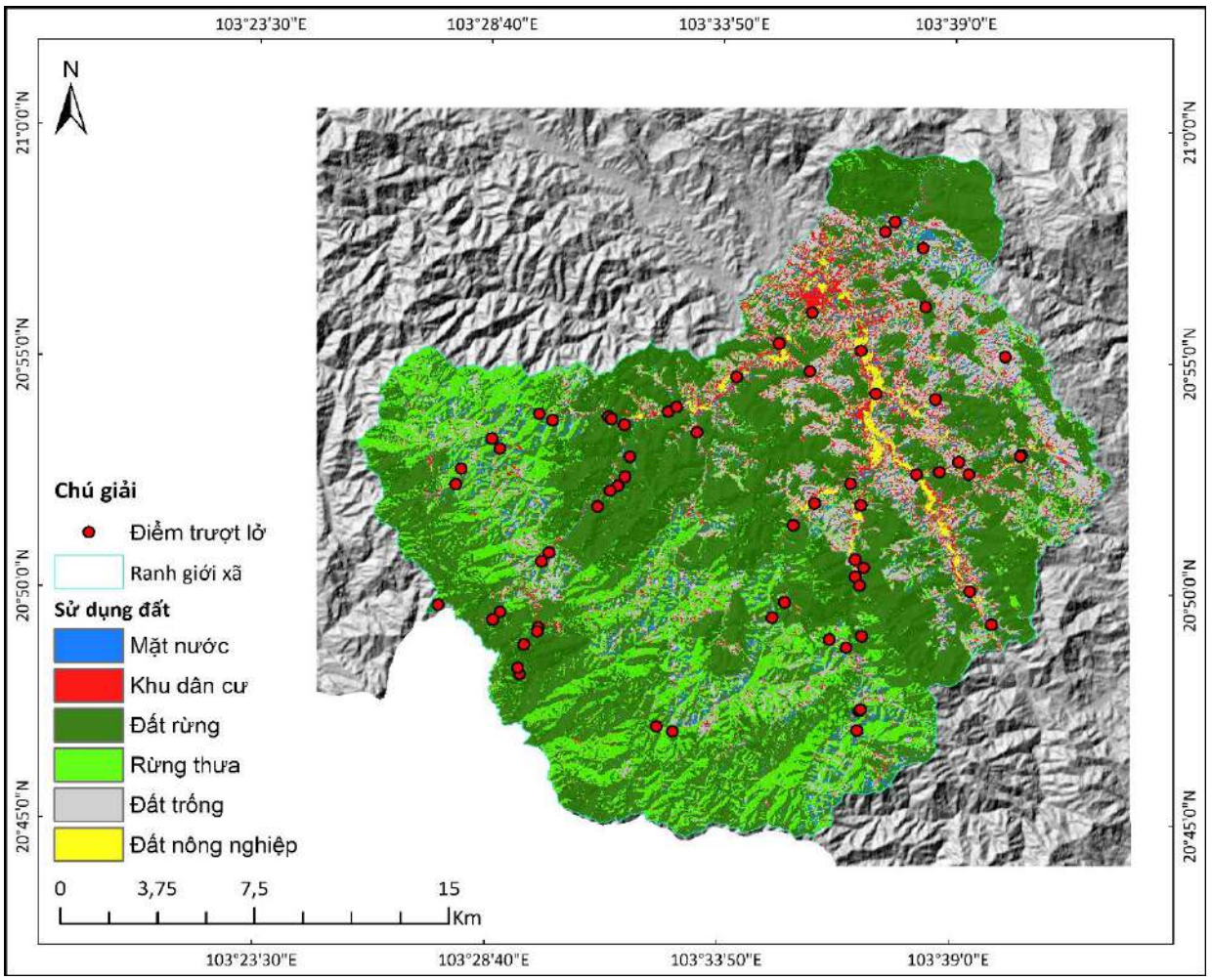
Dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu này là ảnh vệ tinh Landsat 8 độ phân giải 30m của khu vực nghiên cứu được tải từ cơ sở dữ liệu của Cục Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ (USGS) (https://earthexplorer.usgs.gov/; Ngày thu thập: 24/01/2025; Path: 128, Row: 046). Landsat 8 được phát triển nhờ sự hợp tác giữa NASA và Cục Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ (USGS). Vệ tinh Landsat 8 bao gồm hai thiết bị khoa học - Operational Land Imager (OLI) và Thermal Infrared Sensor (TIRS). Hai cảm biến này cung cấp phạm vi phủ sóng theo mùa của đất liền toàn cầu ở độ phân giải không gian là 30 mét (khả kiến, cận hồng ngoại (NIR), hồng ngoại sóng ngắn (SWIR)); 100 mét (hồng ngoại nhiệt (TIRS)); và 15 mét (toàn sắc (Pan)). Việc thu thập các chi tiết chính xác hơn trong khu vực nghiên cứu được thực hiện nhờ độ phân giải cao lên đến 30 m của vệ tinh Landsat 8 trên nhiều băng tần khác nhau (Ganjirad & Bagheri, 2024).



Hình 12. Ảnh Landsat 8 khu vực nghiên cứu

4. Kết quả và thảo luận

Các mẫu ảnh được sử dụng để phân loại được lấy tương ứng với 6 nhóm sử dụng đất trong khu vực nghiên cứu. Sau đó, sử dụng phân loại MLC, bản đồ sử dụng đất khu vực nghiên cứu đã được thành lập như trên Hình 4. Có thể thấy rằng, phần lớn diện tích khu vực nghiên cứu là đất rừng (352km^2 ~ 75% diện tích). Phần diện tích còn lại bao gồm 4 nhóm mặt nước, khu dân cư, đất trống và đất nông nghiệp. Có thể thấy các khu dân cư và đất nông nghiệp phân bố chủ yếu dọc theo các thung lũng, tuy nhiên diện tích nhỏ hẹp. Các khu vực khác ít được khai thác do địa hình đồi núi hiểm trở, khó tiếp cận. Để kiểm tra độ chính xác của bản đồ thu được, nghiên cứu đã so sánh các điểm kiểm tra ngẫu nhiên với dữ liệu tham khảo (Google Earth) để tính toán độ chính xác tổng thể OA và hệ số Kappa. Tổng cộng 120 điểm xác thực đã được lựa chọn và được phân bố đều cho các lớp sử dụng đất.



Hình 13. Bản đồ sử dụng đất khu vực nghiên cứu

Các kết quả xác thực độ chính xác của bản đồ sử dụng đất được trình bày trong Bảng 1. Các kết quả đã chỉ ra rằng tại các khu vực phân bố mặt nước hoặc khu dân cư có tỷ lệ dự đoán chính xác thấp hơn các khu vực khác. Điều này có thể được giải thích do các lớp này có diện tích phân bố nhỏ, thường nằm xen lẫn với các lớp sử dụng đất khác. Các lớp như đất rừng, rừng thưa, đất nông nghiệp hoặc có diện phân bố lớn hoặc phân bố tập trung, do đó dễ nhận dạng và phân loại hơn. Hiệu suất tổng thể đạt 80%, hệ số Kappa K = 0,76 chứng tỏ bản đồ có độ chính xác tương đối tốt và hoàn toàn có thể cải thiện độ chính xác để áp dụng cho các nghiên cứu tiếp sau. Các giải pháp để tăng hiệu suất phân loại có thể kể đến như sử dụng ảnh vệ tinh độ phân giải cao hơn (ví dụ Sentinel-2, 10m), tăng số lượng mẫu phân loại và sử dụng các thuật toán trí tuệ nhân tạo để phân loại.

Bảng 5. *Kết quả xác thực độ chính xác bản đồ phân loại các nhóm sử dụng đất*

Lớp sử dụng đất	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	OA	K
Mặt nước	14	20	10	71,43%	50,00%	80,00%	0,76
Khu dân cư	11	20	10	90,91%	50,00%		
Đất rừng	25	20	20	80,00%	100,00%		
Rừng thưa	27	20	20	74,07%	100,00%		
Đất trống	24	20	17	70,83%	85,00%		
Đất nông nghiệp	19	20	19	100,00%	95,00%		

Thống kê sự phân bố của 65 điểm trượt lở ở các nhóm sử dụng đất được trình bày trong Bảng 2. Có thể thấy rằng phần lớn các điểm trượt phân bố ở khu vực đất rừng (~ 62%). Tuy nhiên, tần suất trượt lở lớn nhất tại các khu vực đất nông nghiệp, khu dân cư và khu vực gần mặt nước. Điều đó cho thấy rằng, các hoạt động của con người có ảnh hưởng lớn đến sự phát sinh trượt lở tại khu vực nghiên cứu.

Bảng 6. *Thống kê sử dụng đất và phân bố trượt lở tại các lớp sử dụng đất*

Lớp sử dụng đất	Diện tích	% Diện tích	Số lượng điểm trượt	% Điểm trượt	Tần suất
Mặt nước	23,00	4,91	7	10,77	2,19
Khu dân cư	30,03	6,41	8	12,31	1,92
Đất rừng	249,40	53,21	31	47,69	0,90
Rừng thưa	102,98	21,97	10	15,38	0,70
Đất trống	54,42	11,61	5	7,69	0,66
Đất nông nghiệp	8,91	1,90	4	6,15	3,24
Tổng	468,74	100	65	100	

5. Kết luận

Với sự phát triển kinh tế xã hội mạnh mẽ và sự gia tăng dân số nhanh chóng, hoạt động khai thác lãnh thổ diễn ra ngày càng mạnh mẽ tại nhiều khu vực miền núi Việt Nam. Do đó, sự thay đổi mục đích sử dụng đất có tác động rất lớn đến sự phát triển bền vững của những khu vực này. Nghiên cứu này đã thực hiện phân loại các lớp sử dụng đất cho khu vực xã Sốp Cộp, tỉnh Sơn La dựa trên dữ liệu ảnh vệ tinh miễn phí trong môi trường GIS. Sử dụng kỹ thuật phân loại MLC, diện tích khu vực nghiên cứu đã được phân chia thành 6 nhóm sử dụng đất chính: (1) Mặt nước, (2) Khu dân cư, (3) Đất rừng, (4) Rừng thưa, (5) Đất trống và (6) Đất nông nghiệp. Khu vực đất rừng chiếm ưu thế vượt trội so với các nhóm đất khác. Độ chính xác tổng thể đạt 80% và hệ số Kappa K = 0,76 đã chứng tỏ hiệu quả của phương pháp phân loại. Nhóm nghiên cứu cũng đã đề xuất một số giải pháp để nâng cao chất lượng bản đồ sử dụng đất. Thống kê sự phân bố trượt lở đã chỉ ra ảnh hưởng mạnh mẽ của các hoạt động nhân sinh đến sự phát triển quá trình trượt lở tại khu vực nghiên cứu. Phương pháp và nguồn dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu này hoàn toàn có thể áp dụng cho các khu vực khác của Việt Nam như một giải pháp hiệu quả chi phí thấp.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin cảm ơn Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản đã cung cấp dữ liệu trượt lở phục vụ cho nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

Baeza, C., & Corominas, J., 2001. Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. *Earth Surface Processes and Landforms,* 26(12): 1251-1263.

Bofana, J., Zhang, M., Nabil, M., Wu, B., Tian, F., Liu, W., . . . Moyo, C., 2020. Comparison of Different Cropland Classification Methods under Diversified Agroecological Conditions in the Zambezi River Basin. *Remote Sensing,* 12(13).

Dou, J., Tien Bui, D., P. Yunus, A., Jia, K., Song, X., Revhaug, I., . . . Zhu, Z., 2015. Optimization of Causative Factors for Landslide Susceptibility Evaluation Using Remote Sensing and GIS Data in Parts of Niigata, Japan. *PLOS ONE,* 10(7): e0133262.

Ganjirad, M., & Bagheri, H., 2024. Google Earth Engine-based mapping of land use and land cover for weather forecast models using Landsat 8 imagery. *Ecological Informatics,* 80: 102498.

Gülci, S., Wing, M., & Akay, A. E., 2025. Land Use and Land Cover (LULC) Mapping Accuracy Using Single-Date Sentinel-2 MSI Imagery with Random Forest and Classification and Regression Tree Classifiers. *Geomatics,* 5(3).

Hasyim Abdul Wahid, Teguh Hariyanto, M. Taufik, & Haryo Sulistyarso, 2011. Urban Land use Change Analysisusing Temporal Multispectral Imagery and Image Difference. *International Journal of Academic Research,* 3(3): 246-251

Huang, F., Teng, Z., Guo, Z., Catani, F., & Huang, J., 2023. Uncertainties of landslide susceptibility prediction: Influences of different spatial resolutions, machine learning models and proportions of training and testing dataset. *Rock Mechanics Bulletin,* 2(1): 100028.

Meena, S. R., & Gudiyangada Nachappa, T., 2019. Impact of Spatial Resolution of Digital Elevation Model on Landslide Susceptibility Mapping: A Case Study in Kullu Valley, Himalayas. *Geosciences,* 9(8).

Nguyen Huu, D., Vu Cong, T., Bretcan, P., & Petrisor, A.-I., 2024. Assessing the relationship between landslide susceptibility and land cover change using machine learning. *Vietnam Journal of Earth Sciences,* 46(3): 339-359.

Paudel, U., Oguchi, T., & Hayakawa, Y., 2016. Multi-Resolution Landslide Susceptibility Analysis Using a DEM and Random Forest. *International Journal of Geosciences,* 07: 726-743.

Peng, L., Sun, Y., Zhan, Z., Shi, W., & Zhang, M., 2023. FR-weighted GeoDetector for landslide susceptibility and driving factors analysis. *Geomatics, Natural Hazards and Risk,* 14(1): 2205001.

Ramachandra, T. V., Mondal, T., & Setturu, B., 2023. Relative performance evaluation of machine learning algorithms for land use classification using multispectral moderate resolution data. *SN Applied Sciences,* 5(10): 274.

Shalaby, A., & Tateishi, R., 2007. Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt. *Applied Geography,* 27(1): 28-41.

Swets, J. A., 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science,* 240(4857): 1285-1293.

Tien, P. V., Minh, V. C., Duc, D. M., Luong, L. H., Nam, D. H., & Hieu, T. T., 2025. Rainfall-induced catastrophic rapid and long-traveling landslide in Lang Nu hamlet: the worst natural landslide disaster in Vietnam. *Landslides,* 22(5): 1761-1767.

Viet Du, Q. V., Nguyen, H. D., Pham, V. T., Nguyen, C. H., Nguyen, Q.-H., Bui, Q.-T., . . . Petrisor, A.-I., 2023. Deep learning to assess the effects of land use/land cover and climate change on landslide susceptibility in the Tra Khuc river basin of Vietnam. *Geocarto International*: 2172218.

Land use mapping for Sop Cop commune, Son La province based on remote sensing data and GIS for landslide hazard assessment

Duong Van Binh[1,2*], Pham Thi Viet Nga[1,2], Pham Thi Ngoc Ha[1,2]
[1]*Hanoi University of Mining and Geology*
[2]*Research group of Engineering Geology and Geo-environment*
**Corresponding author: Email: duongvanbinh@humg.edu.vn*

Abstract

For landslide hazards assessments conducted in Vietnam as well as worldwide, land use is a significant factor, mapped and classified according to the study area. In this paper, a land use map of Sop Cop commune, Son La province, was developed. The data employed for mapping is the Landsat 8 satellite image that is downloaded from open data sources, processed, and classified in a GIS environment using Erdas and ArcGIS software. As a consequence, the land use map of the study area was established, and the classified area was divided into six main land-use categories: (1) water surface, (2) urban areas, (3) forest, (4) shrubland, (5) bare land and (6) agricultural land. The Kappa coefficient K = 0.76 and overall accuracy OA = 80% were used to evaluate the accuracy of the obtained land use map. The map was suitable for use in subsequent analyses, and the calculation results demonstrated acceptable classification performance. Simultaneously, the statistical analysis of the study area revealed that the highest landslide frequency was determined in urban areas (1.92) and agricultural land (3.24), thus illustrating the influence of human activities on the development of landslides. The obtained outcomes play a crucial role as an input data source for landslide studies in the study area.

Key words: Land use, Landslide, Landsat 8, GIS, Sop Cop, Son La.

ÁP DỤNG PHƯƠNG PHÁP XÁC SUẤT TRONG DỰ BÁO ĐỘ LÚN CỐ KẾT CỦA NỀN ĐƯỜNG ĐẤT YẾU

Bùi Văn Bình[1,*]

[1]*Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

**Tác giả liên hệ: Email: buivanbinh@humg.edu.vn*

Tóm tắt

Tính lún cố kết của các công trình xây dựng trên nền đất yếu vẫn là một thách thức quan trọng trong kỹ thuật địa chất công trình, đặc biệt tại những khu vực có các lớp đất sét Holocene dày như Đồng bằng sông Hồng và Đồng bằng sông Cửu Long ở Việt Nam. Phương pháp tính lún cố kết truyền thống thường dựa trên các giá trị đại diện của các chỉ tiêu cơ lý đất thu được từ thí nghiệm trong phòng cho từng lớp địa chất công trình. Tuy nhiên, sự không đồng nhất tự nhiên của đất dẫn đến những sai lệch đáng kể giữa giá trị lún tính toán và giá trị lún thực tế đo được tại hiện trường. Nghiên cứu này tập trung đánh giá hành vi lún cố kết theo hướng xác suất bằng cách xét đến sự biến thiên thống kê của các thông số đất chủ chốt, bao gồm khối lượng thể tích tự nhiên (γ), chỉ số nén (C_c), chỉ số nén lại (C_s) và áp lực tiền cố kết (Pc). Phương pháp ước lượng điểm Rosenblueth được áp dụng để đánh giá hiệu quả ảnh hưởng của các thông số biến thiên thông qua 12 tổ hợp giá trị mà không cần sử dụng các mô phỏng Monte Carlo quy mô lớn. Một lớp đất sét yếu đại diện có chiều dày 18,5 m được lựa chọn để phân tích. Kết quả cho thấy giá trị lún cố kết tuân theo phân bố chuẩn với giá trị trung bình μ = 1,842 m và độ lệch chuẩn σ = 0,0607 m. Xác suất vượt các ngưỡng lún 1,85 m; 1,90 m và 1,95 m lần lượt là 44,5%, 16,8% và 3,7%. Phân tích độ nhạy cho thấy chỉ số nén C_c là tham số có ảnh hưởng lớn nhất đến độ biến thiên của độ lún. Các kết quả này nhấn mạnh tầm quan trọng của việc xét đến tính không chắc chắn của các tham số đất trong dự báo lún nhằm nâng cao độ tin cậy của thiết kế và đánh giá rủi ro cho các công trình xây dựng trên nền đất yếu ở Việt Nam.

Từ khóa: Lún cố kết, phương pháp xác suất, xử lý nền đất yếu.

1. Mở đầu

Bài toán tính lún cố kết của nền đất yếu là một trong những nội dung cốt lõi của thiết kế xử lý nền trong xây dựng công trình tại các khu vực có điều kiện địa chất phức tạp. Đặc biệt ở Việt Nam, các khu vực như Đồng bằng sông Hồng và Đồng bằng sông Cửu Long có phạm vi phân bố đất yếu rất rộng, chủ yếu là các trầm tích sét bùn Holocene có bề dày lớn và độ nén lún cao. Việc tính toán chính xác độ lún cố kết không chỉ ảnh hưởng đến độ ổn định của công trình mà còn quyết định hiệu quả kinh tế của giải pháp xử lý nền.

Nền tảng lý thuyết của bài toán lún cố kết được đặt ra từ công trình kinh điển của Terzaghi (1925). Ông đã phát triển phương trình cố kết một chiều, mô tả sự tiêu thoát nước lỗ rỗng và quá trình gia tăng ứng suất hữu hiệu trong đất bão hòa dưới tác dụng tải trọng. Lý thuyết này đánh dấu bước ngoặt trong cơ học đất hiện đại khi lần đầu tiên mô tả được mối quan hệ định lượng giữa ứng suất, áp lực nước lỗ rỗng và biến dạng thể tích của đất theo thời gian. Biot (1941) đã mở rộng lý thuyết cố kết theo hướng tổng quát hơn, xét đến bài toán cố kết ba chiều và tính đàn hồi khung hạt đất, tạo cơ sở cho các mô hình cố kết đàn hồi-thấm ngày nay. Gibson và cộng sự (1967) tiếp tục phát triển lý thuyết cố kết phi tuyến có xét đến biến dạng lớn, cho phép mô tả chính xác hơn ứng xử của các lớp đất sét mềm dày và không đồng nhất. Những công trình này tạo thành nền tảng khoa học cho hầu hết các phương pháp tính lún cố kết đang được áp dụng hiện nay, từ phương pháp giải tích đơn giản đến mô hình số tiên tiến.

Các thông số quan trọng của đất ảnh hưởng đến quá trình cố kết bao gồm các chỉ tiêu vật lý và chỉ tiêu cơ học. Chỉ tiêu vật lý bao gồm khối lượng thể tích tự nhiên (γ) và hệ số thấm (k), hệ số rỗng (eo) của đất. Các chỉ tiêu cơ học bao gồm chỉ số nén (C_c) và chỉ số nén lại (C_s), phản ánh

độ biến dạng thể tích của đất khi chịu tác dụng của tải trọng công trình. Áp lực tiền cố kết (Pc) thể hiện mức độ cố kết của nền, và hệ số cố kết (cv), điều khiển tốc độ quá trình lún theo thời gian.

Quy trình xác định các giá trị tính toán của chỉ tiêu đất rất quan trọng nhằm đảm bảo các thông số sử dụng trong tính toán phản ánh chính xác đặc trưng của đất tại hiện trường, đồng thời bao hàm các yếu tố an toàn cần thiết. Quy trình này thường được thực hiện sau khi đã hoàn tất công tác phân chia các đơn nguyên địa chất công trình và xử lý thống kê sơ bộ dữ liệu thí nghiệm. Quy trình xác định các giá trị tính toán được quy định rõ trong TCVN9153:2012. Các bước bao gồm tiến hành kiểm tra thống kê và loại trừ các giá trị sai số thô có trong tập kết quả thí nghiệm. Việc này được thực hiện bằng cách so sánh độ lệch của từng giá trị so với giá trị trung bình với một ngưỡng thống kê nhất định (phụ thuộc vào số mẫu). Những giá trị nằm ngoài ngưỡng này sẽ bị loại bỏ để đảm bảo tính đại diện và độ tin cậy của dữ liệu. Xác định giá trị tiêu chuẩn (X_{tc}) của từng chỉ tiêu. Thông thường, X_{tc} được tính bằng giá trị trung bình cộng của tập mẫu sau khi đã loại bỏ sai số thô. Đối với các chỉ tiêu vật lý gián tiếp (như hệ số rỗng, độ lỗ rỗng…), giá trị tiêu chuẩn được tính gián tiếp thông qua các công thức thể hiện bản chất vật lý giữa giữa các chỉ tiêu trong lý cơ học đất, dựa trên các chỉ tiêu thí nghiệm cơ bản. Trong trường hợp các chỉ tiêu biến đổi có quy luật theo độ sâu hoặc theo không gian, X_{tc} sẽ được xác định như một hàm theo độ sâu ($X_{tc}(h)$) để phản ánh chính xác sự thay đổi này. Giá trị tính toán (X_{tt}) được xác định bằng cách hiệu chỉnh X_{tc} thông qua hệ số an toàn về đất và hệ số xét đến độ chính xác thống kê. Hệ số an toàn được xác định dựa trên hệ số biến thiên của tập mẫu, số lượng mẫu và mức độ tin cậy lựa chọn. Với những đơn nguyên có số lượng mẫu nhỏ ($n < 6$), giá trị tính toán được xác định theo phương pháp trung bình cực trị (giá trị nhỏ nhất hoặc lớn nhất) để đảm bảo an toàn thiết kế. Quy trình nhằm đảm bảo rằng giá trị tính toán của các chỉ tiêu đất vừa phản ánh trung thực điều kiện địa chất, vừa có độ tin cậy thống kê và mức độ bảo toàn phù hợp cho thiết kế, góp phần nâng cao tính chính xác của các bài toán lún, ổn định và thấm trong công trình xây dựng.

Trên thế giới, từ những năm 1990, nhiều nghiên cứu bắt đầu áp dụng lý thuyết xác suất và thống kê để mô tả sự không chắc chắn trong các tham số đất, thay vì coi chúng là hằng số. Phoon & Kulhawy (1999) là những người tiên phong trong việc xây dựng khung phân tích xác suất cho các bài toán địa kỹ thuật. Zhang (2004), Fenton & Griffiths (2008) và nhiều tác giả khác đã phát triển các phương pháp Monte Carlo, FORM/SORM và phân tích độ tin cậy để đánh giá phân bố xác suất của độ lún và xác suất vượt ngưỡng giới hạn thiết kế. Các nghiên cứu này cho thấy rằng độ biến thiên của chỉ số nén và áp lực tiền cố kết có thể dẫn đến sai khác đáng kể giữa giá trị trung bình và giá trị đặc trưng của độ lún, nhất là trong các lớp đất sét mềm dày và không đồng nhất.

Tại Việt Nam, nghiên cứu về lún cố kết tập trung chủ yếu ở hai vùng địa chất đặc thù: Đồng bằng sông Hồng và Đồng bằng sông Cửu Long, nơi đất yếu có nguồn gốc Holocene phân bố rộng với bề dày lớn.

Nghiên cứu đặc tính đất và thông số cố kết: Các nghiên cứu của Nguyễn Viết Trung (2004), Trần Văn Việt (2009), Nguyễn Bá Kế (2015)… đã công bố các bộ số liệu oedometer cho đất sét Holocene tại TP. Hồ Chí Minh và Đồng bằng sông Cửu Long. Kết quả cho thấy C_c thường nằm trong khoảng 0,2-0,6; áp lực tiền cố kết thường thấp, dẫn đến trạng thái chưa cố kết và tiềm năng lún lớn. Hệ số thấm và hệ số cố kết thường nhỏ, thời gian cố kết dài.

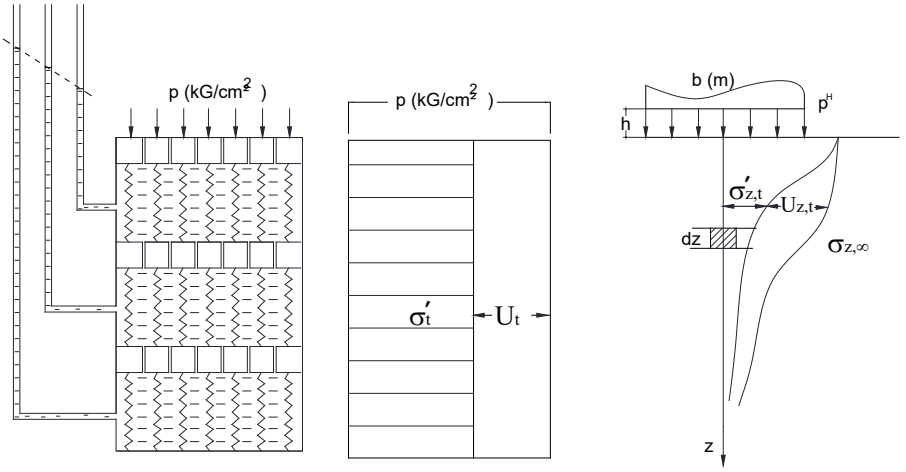
Nghiên cứu dự báo lún và phân tích xác suất: Gần đây, một số công trình bắt đầu tiếp cận theo hướng xác suất, ví dụ như Lê Văn Quỳnh (2018) áp dụng mô phỏng Monte Carlo để đánh giá phân bố độ lún và rủi ro thiết kế khi các thông số C_c, P_c biến thiên theo phân bố thống kê. Các nghiên cứu này cho thấy nếu chỉ sử dụng giá trị trung bình của thông số, độ lún tính toán có thể thấp hơn đáng kể so với độ lún thực tế quan trắc. Việc xét đến khoảng biến thiên và sự không đồng nhất giúp nâng cao độ an toàn thiết kế.

2. Lý thuyết cố kết thấm

Quá trình cố kết thấm của đất là quá trình nén chặt của đất dưới tác dụng của tải trọng ngoài kèm theo quá trình thoát nước trong các lỗ rỗng của đất. Quá trình cố kết thấm chủ yếu được

nghiên cứu trong đất loại sét bão hòa nước, do các loại đất này có hệ số thấm nhỏ, do đó quá trình thoát nước trong các lỗ rỗng diễn ra trong 1 thời gian dài, do đó quá trình nén chặt đất cũng diễn ra theo thời gian. Ngược lại, trong đất loại cát, do loại đất này có hệ số thấm lớn do đó quá trình nén chặt và thoát nước diễn ra rất nhanh vào khoảng từ 3 đến 7 ngày sau khi tác dụng tải trọng. Do đó khi nghiên cứu lý thuyết cố kết thấm chủ yếu nghiên cứu trong đất loại sét bão hòa nước.

Lý thuyết cố kết lần đầu tiên được đưa ra bởi Terzaghi vào giữa những năm năm 1925 ông đã đưa ra mô hình cố kết thấm và phương trình vi phân của lý thuyết cố kết. Trong lý thuyết cố kết của Terzaghi ông đã đưa ra một số giả thiết mỗi đơn nguyên địa chất công trình phải đồng nhất, đất bão hòa hoàn toàn, hạt đất và nước không bị nén ép, dòng thấm diễn ra 1 chiều và tuân theo định luật Darcy, các thông cố của đất không thay đổi trong quá trình cố kết.

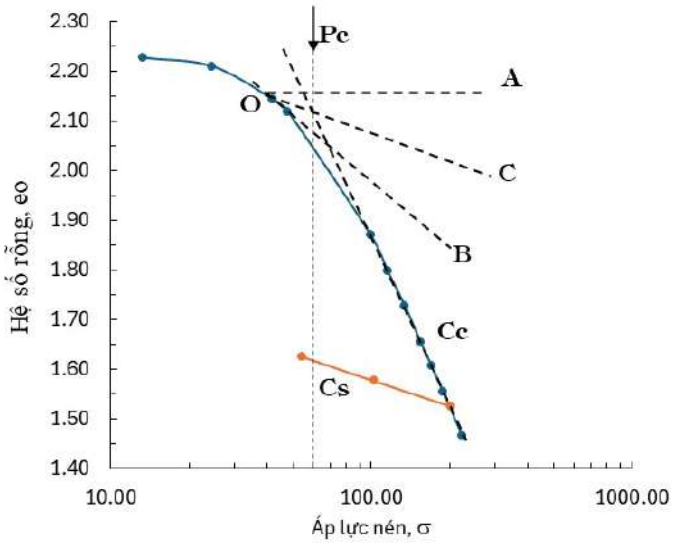


Hình 1. Mô hình cố kết thấm của đất theo K.Teraghi

Từ các giả thiết trên, phương trình vi phân mô phỏng quá trình cố kết của đất được thành lập là hàm của áp lực nước lỗ rỗng dư theo chiều sâu và thời gian.

$$\frac{k}{\gamma_w}\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{1}{1+e}\frac{\partial e}{\partial t} \quad (1)$$

Việc xác định các tham số mô phỏng đặc trưng biến dạng cố kết của đất được thí nghiệm trên hộp nén oedometer trong phòng thí nghiệm. Từ đường cong quan hệ giữa hệ số rỗng và logarit của tải trọng tác dụng để xác định các giá trị chỉ số nén, chỉ số nén lại, áp lực tiền cố kết của đất như hình 2.



Hình 2. Đường cong nén cố kết e vs logP

Độ lún của nền về bản chất được tính toán như công thức (2) như sau:

$$S = \frac{\Delta e}{1 + e_o} H \quad (2)$$

Từ biểu thức (2) độ lún cố kết được biến đổi với các biến là các chỉ tiêu nhận được từ thí nghiệm nén cố kết C_c, C_r và P_c. Biểu thức tính độ lún cố kết sẽ tùy thuộc vào mức độ cố kết của đất và độ lớn của tải trọng tác dụng.

Với đất cố kết thông thường: $P_c < p_o$ thì độ lún cố kết được tính theo công thức (3).

$$S = \sum \frac{C_c H_i}{1 + e_o} log\left(\frac{p_{o(i)} + \Delta p_{(i)}}{p_{o(i)}}\right) \quad (3)$$

Với đất quá cố kết $p_c \geq p_o + \Delta p$ thì độ lún cố kết được tính theo công thức (4).

$$S = \frac{C_s H}{1 + e_o} log\left(\frac{p_o + \Delta p}{p_o}\right) \quad (4)$$

Trong trường hợp $p_c < p_o + \Delta p$ thì độ lún cố kết được tính theo công thức (5).

$$S = \frac{C_S H}{1 + e_o} log\left(\frac{p_c}{p_o}\right) + \frac{C_c H}{1 + e_o} log\left(\frac{p_o + \Delta p}{p_c}\right) \quad (5)$$

Trong đó:

p_c - áp lực tiền cố kết;

P_o - áp lực địa tầng;

Δp - ứng suất phụ thêm do công trình gây ra.

3. Áp dụng phương pháp xác suất trong dự báo độ lún cố kết

3.1 Phương pháp xác suất và khả năng ứng dụng trong dự báo lún cố kết

Phương pháp Rosenblueth, còn gọi là phương pháp ước lượng điểm (Point Estimation Method - PEM), là một kỹ thuật phân tích xác suất được sử dụng phổ biến trong lĩnh vực cơ học đất nhằm đánh giá ảnh hưởng của sự không chắc chắn trong các thông số đầu vào đến đại lượng đầu ra mà không cần thực hiện quá nhiều phép mô phỏng ngẫu nhiên. Ý tưởng cơ bản của phương pháp này là thay thế quá trình lấy mẫu ngẫu nhiên phức tạp bằng việc lựa chọn một tập hữu hạn các "điểm đại diện" cho phân bố của các biến ngẫu nhiên đầu vào. Đối với mỗi biến ngẫu nhiên X_i có giá trị trung bình μ_i và độ lệch chuẩn σ_i, phương pháp Rosenblueth chọn hai giá trị đại diện là $X_i^+ = \mu_i + \sigma_i$ và $X_i^- = \mu_i - \sigma_i$. Khi có n biến ngẫu nhiên độc lập, sẽ có 2^n tổ hợp điểm để đánh giá hàm mục tiêu, từ đó tính được giá trị trung bình và phương sai của đại lượng đầu ra bằng cách gán trọng số cho từng điểm.

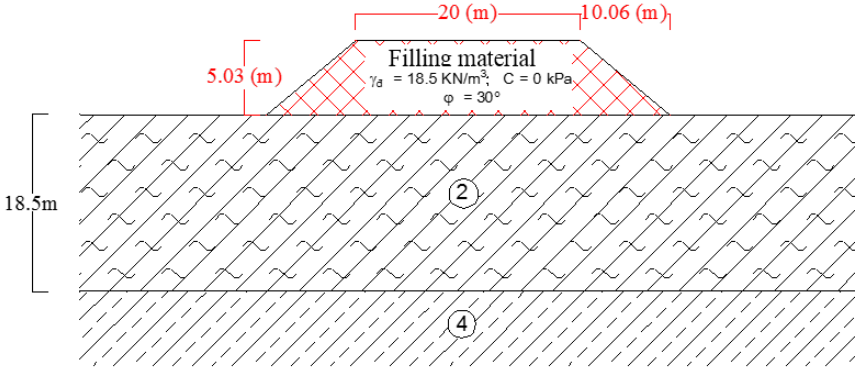
Trong bài toán lún cố kết của nền đất yếu, độ lún cố kết (Sc) thường được xác định thông qua các thông số như chỉ số nén (C_c), chỉ số nén lại (C_s), áp lực tiền cố kết (Pc), hệ số rỗng ban đầu (e_0) và chiều dày lớp đất (H).

$$S = f(\gamma_w, C_c, C_s, eo, P_c) \quad (6)$$

Các thông số này thường có tính biến thiên lớn theo không gian do điều kiện thành tạo khác nhau, dẫn đến độ không chắc chắn đáng kể trong kết quả tính lún. Phương pháp Rosenblueth được áp dụng bằng cách xác định giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của từng thông số từ kết quả thí nghiệm, sau đó xây dựng tập hợp các điểm đại diện tương ứng với các tổ hợp giá trị ±σ. Mỗi tổ hợp được sử dụng để tính độ lún cố kết theo công thức Terzaghi, từ đó thu được tập giá trị lún ứng với các kịch bản đầu vào. Thông qua việc tổng hợp các kết quả này, có thể ước tính giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của độ lún, cũng như đánh giá được mức độ nhạy cảm của từng thông số đến kết quả tính toán. Cách tiếp cận này cho phép phân tích nhanh ảnh hưởng của sự biến thiên tham số mà không cần thực hiện nhiều phép mô phỏng Monte Carlo, đồng thời phù hợp với điều kiện số liệu hạn chế thường gặp trong thực tế khảo sát địa chất công trình ở Việt Nam.

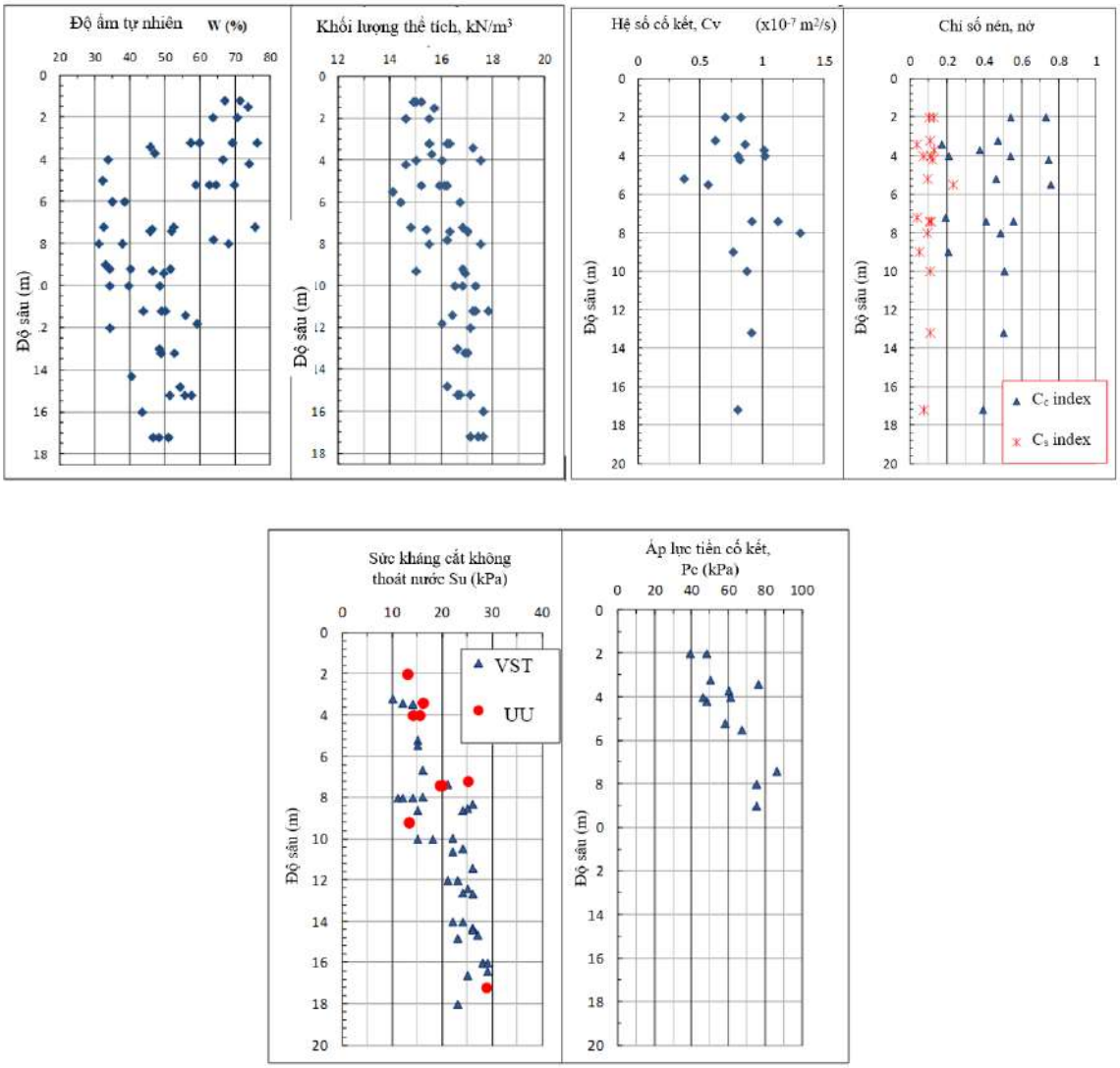
3.2 Áp dụng cho mặt cắt tuyến cao tốc Cầu Giẽ - Ninh Bình

Ví dụ áp dụng cho 1 mặt cắt trên tuyến cao tốc Cầu Giẽ - Ninh Bình với mặt cắt đại diện cho đoạn từ Km 5+000 đến Km6+366 như Hình 3. Mặt cắt đại diện với cấu trúc nền gồm 2 đơn nguyên địa chất công trình (lớp). Lớp 2 là lớp bùn sét pha với chiều dày 18.50m. Lớp 4 là sét pha trạng thái dẻo cứng với chiều dày lớn hơn 5.00m. Nền đường đắp cao 5.03m với chiều rộng mặt đường là 20.0m và hệ số mái dốc tỷ lệ 1:2.



Hình 3. Mặt cắt ngang đại diện

Các chỉ tiêu cơ lý của lớp đất yếu phục được thể hiện trong hình 4.



Hình 4. Sự biến thiên các chỉ tiêu cơ lý của lớp 2

Dựa trên kết quả thí nghiệm trong phòng, để thành lập các giá trị tính toán. Giá trị tính toán được lựa chọn dựa theo trạng thái giới hạn 2 với xác suất P = 85%. Giá trị tính toán và độ lệch chuẩn được của lớp đất yếu (lớp 2). Các chỉ tiêu cơ lý trong nghiên cứu này được tổng hợp và xử lý dưới dạng tập hợp mẫu với giả thuyết bỏ qua sự biến đổi của chúng theo độ sâu như trong khái niệm đơn nguyên địa chất công trình. Tổng hợp các chỉ tiêu tính toán được thể hiện như trong Bảng 1.

Bảng 1. *Chỉ tiêu cơ lý của lớp đất yếu*

Chỉ tiêu	Đơn vị	Giá trị tính toán (X_{tt})	Độ lệch chuẩn (S)
Khối lượng thể tích, γ_w	kN/m^3	15.40	0.150
Chỉ số nén, Cc	-	0.456	0.024
Chỉ số nén lại, Cs	-	0.101	0.011
Áp lực tiền cố kết, Pc	kPa	45.25	2.35

Dựa theo giá trị tính toán và độ lệch chuẩn của tập hợp mẫu, khoảng biến thiên của các giá trị tính toán được khảo sát trong khoảng $X_{tt} \pm S$ như trình bày ở bảng 2.

Bảng 2. *Khoảng biến thiên của các giá trị tính toán*

Chỉ tiêu	X_{tt} - S	X_{tt}	X_{tt} + S
Khối lượng thể tích, γ_w	15.250	15.400	15.550
Chỉ số nén, Cc	0.432	0.456	0.480
Chỉ số nén lại, Cs	0.091	0.101	0.111
Áp lực tiền cố kết, Pc	42.900	45.250	47.600

Bài toán tính lún cố kết được thực hiện với lớp đất yếu (lớp 2) trong đó lớp được chia thành các phân tố với chiều dày là 1.0m. Dựa vào các khoảng biến thiên của các chỉ tiêu cơ lý như Bảng 2, độ lún cố kết được khảo sát với 12 trường hợp khi một hoặc 2 giá trị chỉ tiêu cơ lý biến đổi như Bảng 4.

Bảng 4. *Kết quả độ lún cố kết tương ứng với sự biến thiên của các giá trị chỉ tiêu cơ lý*

TT	γ_w	Cc	Cs	Pc	Sc (m)
1	15.400	0.456	0.101	45.250	1.842
2	15.250	0.456	0.101	45.250	1.858
3	15.550	0.456	0.101	45.250	1.826
4	15.400	0.432	0.101	45.250	1.752
5	15.400	0.480	0.101	45.250	1.932
6	15.400	0.456	0.091	45.250	1.829
7	15.400	0.456	0.111	45.250	1.855
8	15.400	0.456	0.101	42.900	1.867
9	15.400	0.456	0.101	47.600	1.818
10	15.400	0.432	0.091	45.250	1.763
11	15.400	0.48	0.111	45.250	1.971
12	15.400	0.432	0.111	45.25	1.787

Kết quả tính toán cho thấy độ lún S_c dao động từ 1.752 m đến 1.971 m, với giá trị trung bình khoảng 1.85 m. Sự thay đổi của các thông số đầu vào ảnh hưởng đáng kể đến kết quả tính toán. Khi C_c tăng từ 0.432 lên 0.480, giá trị lún tăng khoảng 10%, trong khi thay đổi của C_s chỉ gây dao động khoảng 1-2%. Tương tự, sự thay đổi của áp lực tiền cố kết P_c trong khoảng ±5% cũng dẫn đến biến thiên đáng kể của độ lún.

Các đặc trưng thống kê của độ lún cố kết Sc theo phương pháp xác suất Rosenblueth với tập hợp mẫu 12 và trọng số pj = 1/12 được ước lượng như sau:

Ước lượng kỳ vọng: $E[S] \approx \sum_{j=1}^{12} = p_j S_j = \bar{S} = 1.841667$ m.

Ước lượng phương sai: $\mathrm{Var}[S] \approx \sum_{j=1}^{12} p_j (S_j - E[S])^2 = 0.003682.$

Độ lệch chuẩn ước lượng: $\sigma_S \approx 0.06066$ m.

Với giả thiết các giá trị độ lún cố kết tuân theo quy luật phân phối chuẩn với với $\mu = 1.841667$ và $S = 0.06066$, xác suất độ lún xảy ra có thể được ước lượng. Với độ lún $S_c > 1.90$m, tương ứng với giá trị xác xuất $P(Sc > 1.90) \approx 0.168$ (khoảng 16.8%). Với độ lún $S_c > 1.95$m tương ứng với giá trị xác suất $P(Sc > 1.95) \approx 0.037$ (khoảng 3.7%). Với độ lún $S_c > 1.85$m, tương ứng với giá trị xác suất $P(Sc > 1.85) \approx 0.445$ (khoảng 44.5%).

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã trình bày một cách tiếp cận xác suất trong phân tích độ lún cố kết của nền đất yếu bằng phương pháp ước lượng điểm Rosenblueth. Thay vì chỉ sử dụng một giá trị tính toán duy nhất cho mỗi chỉ tiêu cơ lý, phương pháp này cho phép đánh giá hiệu ứng của sự biến thiên thống kê của các tham số đất (γ, C_c, C_s, P_c) lên độ lún, với số lượng tổ hợp giới hạn nhưng vẫn đảm bảo độ chính xác tương đương các phương pháp mô phỏng Monte Carlo. Kết quả cho thấy độ lún của lớp đất yếu dày 18,5 m phân bố xấp xỉ chuẩn với giá trị trung bình 1,84 m và độ lệch chuẩn 0,06 m. Xác suất lún vượt ngưỡng 1,90 m là khoảng 17%, vượt 1,95 m khoảng 3,7%, cho thấy rủi ro thiết kế không thể bỏ qua nếu chỉ xét giá trị trung bình. Phân tích độ nhạy cũng khẳng định chỉ số nén C_c là thông số có ảnh hưởng chi phối đến độ lún cố kết, tiếp theo là áp lực tiền cố kết P_c.

Kết quả nghiên cứu khẳng định tầm quan trọng của việc tích hợp biến thiên tham số đất trong phân tích và thiết kế nền móng. Phương pháp Rosenblueth cho phép thực hiện điều này một cách đơn giản, không đòi hỏi nhiều phép tính hay mô phỏng phức tạp, nhưng vẫn cho ra kết quả có giá trị thống kê rõ ràng. Đây là hướng tiếp cận phù hợp để áp dụng trong điều kiện Việt Nam, nơi đất yếu Holocene có độ không đồng nhất cao.

Tài liệu tham khảo

Bergado, D. T., Chai, J. C., & Balasubramaniam, A. S. (1996). *Improvement techniques of soft ground in subsiding and lowland environment.* Balkema Publishers.

Biot, M. A. (1941). General theory of three-dimensional consolidation. *Journal of Applied Physics,* 12(2), 155-164.

Davis, E. H., & Raymond, G. P. (1965). A non-linear theory of consolidation. *Géotechnique,* 15(2), 161-173.

Fenton, G. A., & Griffiths, D. V. (2008). *Risk assessment in geotechnical engineering.* John Wiley & Sons.

Gibson, R. E., England, G. L., & Hussey, M. J. L. (1967). The theory of one-dimensional consolidation of saturated clays. *Géotechnique,* 17(3), 261-273.

Indraratna, B., Rujikiatkamjorn, C., & Sathananthan, I. (2005). Analytical and numerical solutions for vacuum-assisted consolidation with horizontal drains. *International Journal of Geomechanics,* 5(2), 114-124.

Lê Văn Quỳnh. (2018). Ứng dụng phương pháp Monte Carlo trong đánh giá độ lún cố kết có xét đến biến thiên tham số đất yếu. *Tạp chí Xây dựng Việt Nam.*

Nguyễn Bá Kế. (2015). Đặc điểm nén lún và xử lý nền đất yếu khu vực đồng bằng sông Cửu Long. *Hội nghị Khoa học địa kỹ thuật toàn quốc.*

Nguyễn Viết Trung. (2004). Nghiên cứu đặc điểm nén lún của đất yếu vùng đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Xây dựng, Trường ĐH Xây dựng Hà Nội.*

Phoon, K. K., & Kulhawy, F. H. (1999). Characterization of geotechnical variability. *Canadian Geotechnical Journal,* 36(4), 612-624.

Schiffman, R. L. (1958). Consolidation of soil under time-dependent loading and varying permeability. *Géotechnique,* 8(4), 182-196.

Terzaghi, K. (1925). Principles of Soil Mechanics: IV. Settlement and Consolidation of Clay. *Engineering News-Record,* 95, 874-878.

Trần Văn Việt. (2009). Đặc trưng địa kỹ thuật của đất Holocene vùng TP. Hồ Chí Minh và ứng dụng trong xử lý nền. *Tạp chí Địa kỹ thuật Việt Nam.*

Zhang, L. M. (2004). Reliability of geotechnical structures in spatially variable soils. *Géotechnique,* 54(1), 65-72.

Application of probabilistic methods in predicting the consolidation settlement of weak road foundations

Bui Van Binh[1,*]

[1] *Hanoi University of Mining and Geology*

**Corresponding author: Email: buivanbinh@humg.edu.vn*

Abstract

Consolidation settlement of structures constructed on soft ground remains a critical challenge in geotechnical engineering, particularly in regions characterized by thick Holocene clay layers such as Vietnam's Red River and Mekong Deltas. Conventional consolidation settlement calculations typically rely on representative parameter values derived from laboratory tests for each geotechnical layer. However, natural soil variability often leads to significant deviations between calculated and actual settlements. This study investigates the probabilistic behavior of consolidation settlement by accounting for the statistical variability of key soil parameters, including natural unit weight (γ), compression index (Cc), recompression index (Cs), and preconsolidation pressure (Pc). The Rosenblueth point estimate method is employed to efficiently evaluate the impact of parameter variability through 12 parameter combinations without requiring extensive Monte Carlo simulations. A representative soft clay layer with a thickness of 18.5 m is analyzed. The computed settlements exhibit a normal distribution with a mean value $\mu = 1.842$ m and a standard deviation $\sigma = 0.0607$ m. Probabilities of exceeding settlement thresholds of 1.85 m, 1.90 m, and 1.95 m are 44.5%, 16.8%, and 3.7%, respectively. Sensitivity analysis indicates that the compression index (Cc) is the dominant parameter influencing settlement variability. The results highlight the necessity of incorporating parameter uncertainty into settlement prediction to improve design reliability and risk assessment for structures on soft soils in Vietnam.

Keywords: Consolidation settlement, probabilistic method, soft ground treatment.

NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG VẬT LIỆU ĐÁ TỰ NHIÊN TRONG XÂY DỰNG ĐƯỜNG GIAO THÔNG Ở NINH THUẬN

Phạm Minh Tân[1], Bùi Trường Sơn[2,*]

[1]Ban Quản lý Dự án đầu tư xây dựng tỉnh Khánh Hòa

[2]Nhóm nghiên cứu Địa chất công trình và Địa môi trường, Trường Đại học Mỏ - Địa chất

**Tác giả liên hệ: Email: buitruongson@humg.edu.vn*

Tóm tắt

Phát triển hạ tầng giao thông tại Ninh Thuận trong những năm gần đây đã dẫn đến nhu cầu lớn về vật liệu xây dựng, đặc biệt là đá tự nhiên cho kết cấu móng, mặt đường, bê tông asphalt và bê tông xi măng. Bài báo này nhằm đánh giá khả năng sử dụng các loại đá phân bố tại Ninh Thuận cho công trình đường giao thông, thông qua khảo sát đặc điểm phân bố, tính chất cơ lý và thử nghiệm khả năng ứng dụng.

Kết quả nghiên cứu cho thấy, Ninh Thuận có 22 mỏ đá với tổng tài nguyên dự báo trên 2,8 tỷ m^3, chủ yếu là đá granit và đá macma phun trào. Các loại đá này có cường độ kháng nén và độ bền cao, phần lớn đáp ứng tiêu chuẩn TCVN 8859:2023 và TCVN 7570:2006, phù hợp làm cấp phối đá dăm, cốt liệu bê tông nhựa. Trong đó, đá granit phức hệ Đèo Cả và đá phun trào hệ tầng Đơn Dương được đánh giá tốt cho móng trên và mặt đường.

Từ khóa: Ninh Thuận; đá xây dựng; đường giao thông.

1. Đặt vấn đề

Trong giai đoạn hiện nay, phát triển hạ tầng giao thông được xem là một trong những nhiệm vụ trọng tâm nhằm thúc đẩy kinh tế - xã hội, bảo đảm an ninh - quốc phòng, đặc biệt đối với các tỉnh thuộc khu vực Duyên hải Nam Trung Bộ. Ninh Thuận (nay là phía Bắc của tỉnh Khánh Hòa) là tỉnh ven biển nằm giữa các trục giao thông chiến lược của cả nước - đang chứng kiến sự phát triển mạnh mẽ về hạ tầng, với hàng loạt dự án đường bộ, đường cao tốc, các tuyến kết nối liên vùng, khu công nghiệp, cảng biển và khu du lịch. Chính vì vậy, nhu cầu về vật liệu xây dựng, đặc biệt là vật liệu đá tự nhiên, phục vụ thi công các công trình giao thông ngày càng trở nên cấp thiết và có quy mô lớn.

Trong xây dựng giao thông, đá tự nhiên giữ vai trò hết sức quan trọng, là thành phần cấu tạo chủ yếu của các lớp móng đường, mặt đường, bê tông asphalt, bê tông xi măng và các công trình cầu cống. Chất lượng của vật liệu đá trực tiếp quyết định đến độ bền, khả năng chịu tải, tuổi thọ và hiệu quả khai thác của tuyến đường. Trong khi đó, thực tiễn cho thấy, nhiều địa phương tại Việt Nam, nhất là vùng Nam Trung Bộ, còn phụ thuộc nhiều vào nguồn vật liệu khai thác từ các tỉnh lân cận, dẫn đến chi phí vận chuyển cao, áp lực khai thác quá mức tại một số khu vực và nguy cơ thiếu hụt vật liệu trong tương lai.

Ninh Thuận có diện tích tự nhiên khoảng 3.360 km^2, với địa hình đặc trưng thấp dần từ Tây Bắc xuống Đông Nam, bao quanh bởi nhiều dãy núi thuộc hệ Trường Sơn Nam. Cấu trúc địa chất của khá phức tạp, bao gồm nhiều loại đá macma xâm nhập (granit, granodiorit, diorit), macma phun trào (đacit, ryodacit, andezit) và đá trầm tích lục nguyên (cát kết, bột kết, sét kết). Đây chính là nguồn tài nguyên khoáng sản quan trọng có thể khai thác để làm vật liệu xây dựng giao thông. Theo các kết quả điều tra địa chất - khoáng sản, Ninh Thuận hiện có khoảng 22 mỏ và điểm mỏ đá xây dựng với tổng tài nguyên dự báo hơn 2,8 tỷ m^3, trong đó granit và các loại đá phun trào chiếm ưu thế. Điều này cho thấy tiềm năng khai thác và sử dụng đá tự nhiên tại chỗ là rất lớn, đủ đáp ứng không chỉ cho nhu cầu địa phương mà còn có thể cung cấp cho các tỉnh lân cận trong khu vực Nam Trung Bộ và Đông Nam Bộ (Hoàng Hoa Thám, 2016).

Bên cạnh ưu thế về trữ lượng, Ninh Thuận còn có lợi thế về vị trí địa lý trong vận chuyển và

phân phối vật liệu xây dựng. Tỉnh nằm trên trục giao thông Bắc - Nam với tuyến Quốc lộ 1A và tuyến đường sắt Thống Nhất, đồng thời có cao tốc Bắc - Nam đi qua, cùng hệ thống cảng biển Cà Ná, cảng Đông Hải, thuận lợi cho việc vận chuyển vật liệu với quy mô lớn. Trong bối cảnh nhu cầu xây dựng ngày càng gia tăng, việc chủ động nguồn cung đá tự nhiên tại chỗ có ý nghĩa chiến lược trong việc giảm chi phí vận chuyển, hạ giá thành xây dựng, góp phần nâng cao hiệu quả đầu tư các dự án giao thông.

Một yếu tố cần nhấn mạnh nữa là tính bền vững và bảo vệ môi trường trong khai thác vật liệu đá xây dựng. Ninh Thuận nằm trong khu vực có hệ sinh thái đặc thù, nhiều vùng bán khô hạn, dễ bị xói mòn và sa mạc hoá. Nếu khai thác ồ ạt, không có quy hoạch, sẽ gây ra những tác động tiêu cực đến cảnh quan và môi trường. Do đó, nghiên cứu về khả năng sử dụng đá tự nhiên không chỉ nhằm đánh giá chất lượng vật liệu mà còn hướng tới việc sử dụng hợp lý, tiết kiệm và bền vững nguồn tài nguyên khoáng sản của tỉnh.

Để sử dụng hiệu quả nguồn tài nguyên này, cần phải có nghiên cứu toàn diện và có cơ sở khoa học về đặc điểm phân bố, tính chất cơ lý và khả năng ứng dụng của từng loại đá trong các hạng mục công trình giao thông. Chính vì vậy, việc tiến hành nghiên cứu chuyên sâu về "Khả năng sử dụng vật liệu đá tự nhiên cho công trình đường giao thông ở Ninh Thuận" có ý nghĩa cả về khoa học lẫn thực tiễn. Về mặt khoa học, nghiên cứu giúp làm sáng tỏ các đặc điểm địa chất, khoáng vật, tính chất cơ lý của các loại đá chủ yếu, từ đó đưa ra cơ sở khoa học trong lựa chọn và ứng dụng. Về mặt thực tiễn, nghiên cứu sẽ cung cấp các luận cứ phục vụ quy hoạch khai thác, sử dụng hợp lý nguồn tài nguyên, đáp ứng nhu cầu xây dựng ngày càng lớn, đồng thời giảm thiểu rủi ro trong khai thác và thi công công trình.

2. Đặc điểm phân bố và tính chất cơ lý của đá xây dựng

2.1 Đặc điểm phân bố

Nguồn đá xây dựng ở Ninh Thuận có chất lượng khá tốt, trữ lượng tài nguyên khá lớn (Phạm Minh Tân, Bùi Trường Sơn, 2024).

Đá xâm nhập: Chủ yếu là Granit thuộc các phức hệ $K_1đc$, K_2cn và $K_1đq$. Trong phạm vi nghiên cứu, đá $K_1đc$ lộ ra ở các khu vực đèo Krông Pha, sông Trà Co, cầu Tân Mỹ, Cà Ná..., tạo nên các khối kích thước từ vài km^2 đến trên 100 km^2 và các khối Núi Chúa (300km^2), Núi Đá Cao (50km^2), Hòn Rồng (25km^2), Tây Tà Lương (15km^2), bán đảo Cam Ranh (40km^2); đá thuộc K_2cn (Nam Ninh Thuận) phát triển khá rộng rãi ở khu vực quanh Đà Lạt, Cà Ná. Ngoài ra, chúng còn phân bố rải rác ở các khu vực núi Da Bro (Phan Rang), Đông Nam Di Linh, Phan Dũng, khu vực Đông Bắc cầu Tân Mỹ, núi Chúa, núi Đá Cao, phía Tây núi Hòn Dầu,... tạo nên các khối kích thước từ nhỏ (trên dưới 1km^2) đến hàng trăm km^2; đá thuộc $K_1đq$ phân bố chủ yếu trên diện tích ở Ninh Phước, Bác Ái.

Đá phun trào: Thuộc các Hệ tầng Đơn Dương và Nha Trang, có thành phần trung tính và axit. Nhìn chung, đá rất cứng chắc, dễ khai thác và rất thích hợp cho việc sử dụng để làm cốt liệu xây dựng đường, bê tông và những nhu cầu khác. Một số khu vực đã nghiên cứu địa chất, chất lượng đá xây dựng đạt yêu cầu đáp ứng cho nhu cầu thị trường như núi Ông Ngài, núi Đất, núi Cô Lô (huyện Thuận Bắc), Núi Tiêng - Núi Giải (huyện Ninh Sơn), Núi Tà Liên (huyện Bác Ái), Phước Diêm (Lạc Tiến), núi Đá Giăng, Chà Bang, núi Mavieck (huyện Thuận Nam). Hiện nay, trên địa bàn tỉnh đã phát hiện, điều tra khảo sát khoảng 22 mỏ và điểm mỏ đá xây dựng với tổng tài nguyên dự báo vào khoảng 2.828,6 triệu m^3, trên tổng diện tích phân bố khoảng 43,3 km^2. Nguồn nguyên liệu này được phân bố ở các khu vực khác nhau.

Đá trầm tích lục nguyên: Chỉ gặp hệ tầng La Ngà (J_1ln). Thành phần của đá phần trên gồm cát - bột kết xen kẽ sét kết, phần dưới chủ yếu là bột kết, sét kết. Do diện phân bố hẹp, chất lượng đá không cao. Trong phạm vi tỉnh, loại đá này cũng ít được quan tâm.

Đá trầm tích sinh hoá: Chủ yếu là đá Cacbonat gặp ở dạng soda và san hô vùng ven biển. Có 4 điểm chứa soda được phát hiện từ năm 1935 (Saurin E.) ở Hòa Trinh, Văn Lâm, Phước Đồng 1,

Phước Đồng 2 thuộc huyện Thuận Nam và Ninh Phước. Các điểm cách nhau 2 - 10 km, bao quanh thành phố Phan Rang - Tháp Chàm. Mỗi điểm rộng 0,5 - 1,5 ha, nằm trên tích tụ cát vàng nâu Holocen. Điểm quặng muối sô đa cacbonat natri An Thanh phân bố trên diện tích khoảng 200m^2, ở đó lớp muối thấm đọng có màu trắng, trắng đục, chiều dày < 1cm.

Bảng 1. *Tài nguyên dự báo của một số loại đá sử dụng làm VLXD của Ninh Thuận*

Địa phương	Thứ tự	Tên mỏ	Loại vật liệu đá	Diện tích các mỏ (ha)	TNDB (triệu m^3)
Thuận Bắc	1	Giác Lan	Phun trào	8.900	1.059
	2	Cô Lô			
	3	Tây Cà Rôm	Granit		
	4	Núi Bà pháo kích			
	5	Ông Ngài			
	6	Núi Đá Đài			
Ninh Hải	7	Núi Ông Câu	Granit	1.900	182.2
	8	Núi Quýt			
Bắc Ái	9	Núi Tà Liên	Granit	5.600	338.6
	10	Núi Ma tú			
Ninh Sơn	11	Núi Tiếng	Granit	16.600	908.6
	12	Núi Hòn Gió			
	13	Núi Đỏ			
	14	Đồ Cầm Liên			
	15	Hòn Giài			
	16	Núi Ngỗng			
	17	Thôn Do			
	18	Núi Chột			
Ninh Phước	19	Núi Hòn Bằng	Granit	880	18.4
	20	Núi Gộp Dài			
Thuận Nam	21	Đồi Mộng Liêm	Granit	10.360	314.8
	22	Mỏ Jaty			
	23	Núi Giăng			
	24	Lạc Tiến			
	25	Mavieck			

2.2 Tính chất cơ lý của đá

Để tiến hành nghiên cứu tính chất cơ lý của đá, nhóm nghiên cứu đã lựa chọn vị trí lấy mẫu và loại đá, số lượng mẫu đá được trình bày trong bảng 2.

Bảng 2. *Loại đá và vị trí lấy mẫu nghiên cứu*

TT	Kí hiệu điểm lấy mẫu	Loại đá	Địa điểm lấy mẫu nghiên cứu	Số lượng mẫu thí nghiệm	
				Khoáng vật	Cơ lý
1	St.xn1	Granit phức hệ Đèo Cả (pha 2)	Núi Lạc Tiếng, xã Cà Ná,	3	6
2	St.xn2	Granit phức hệ Đèo Cả (pha 2)	An Khánh, Núi Chà Bang, xã Phước Nam,	3	6
3	St.xn3 St.xn4	Granit phức hệ Đèo Cả (pha 1 và pha 3)	Núi Tiêng 2, xã Nhơn Sơn	3	6
4	St.xn5	Granit phức hệ Đèo Cả (pha 3)	Núi Mavieck 4, xã Phước Dinh	3	6
5	St.xn6	Đá Đacit, tuf đacit, hệ tầng Đơn Dương	Núi Cô Lô, xã Công Hải	3	6
6	St.xn7	Ryođacit - ryolit, hệ tầng Đơn Dương	Núi Tà Liên, xã Phước Đại	3	6
7	St.xn8	Đá bột kết hệ tầng La Ngà	Các núi thấp thuộc xã Phước Trung	3	6

Công tác thí nghiệm xác định các chỉ tiêu cơ lý được thực hiện tại phòng thí nghiệm Las XD

1391 tại Ninh Thuận theo các tiêu chuẩn Việt Nam: TCVN 8859:20123, TCVN 7570:2006, TCVN 13567:2022, TCVN 7572:2006, TCVN 12792:2020. Kết quả thí nghệm tính chất cơ lý mẫu thí nghiệm trong bảng 2 được trình bày trong Bảng 3.

Bảng 3. *Các đặc trưng cơ lý cơ bản của các mẫu đá gốc*

Kí mẫu	Số lượng mẫu TN	Khối lượng thể tích	Khối lượng riêng	Độ rỗng	Độ hút nước bão hòa	Hệ số hóa mềm	Cường độ kháng nén	Cường độ kháng nén bão hòa	Dính bám Nhựa
Đơnvị		g/cm^3	g/cm^3	%	%		(MPa)	(MPa)	Cấp
St.xn1 & St.xn2	06	~ 2.59	~ 2.68		0.15	~ 0.97	~ 109	~ 109	1÷2
		Cường độ nén mẫu đá (MPa)		92	126	108	112	105	
St.xn3	06	~ 2.59	~ 2.67		0.16	~ 0.96	~ 97	~ 97	1÷2
		Cường độ nén mẫu đá (MPa)		96	90	113	87	98	
St.xn4	06	~ 2.62	~ 2.70		0.14	~ 0.98	~ 168	~ 168	5
		Cường độ nén mẫu đá (MPa)		167	197	139	156	181	
St.xn5	06	~ 2.56	~ 2.66		0.18	~ 0.95	~ 83	~ 83	1÷2
		Cường độ nén mẫu đá (MPa)		66	74	80	113	83	
St.pt6	06	~ 2.61	~ 2.70		0.14	~ 0.98	~ 176	~ 176	4÷5
		Cường độ kháng nén (MPa)		168	167	210	159	178	
St.pt7	06	~ 2.62	~ 2.72		0.12	~ 0.98	~ 145	~ 145	4÷5
		Cường độ nén mẫu đá (MPa)		142	155	135	146	147	
St.tt6	06	~ 2.63	~ 2.72		0.14	~ 0.97	~ 105	~ 105	3÷4
		Cường độ nén mẫu đá (MPa)		117	99	95	107	108	

Từ các kết quả nghiên cứu về tính chất cơ lý của các loại đá trong bảng 3 và dựa theo yêu cầu TCVN 8859:2023 có thể nhận xét như sau:

- Các loại đá nghiên cứu đều đạt yêu cầu về cường độ kháng nén để làm VLXD đường giao thông cho cấp phối đá dăm và bê tông asphalt, ngoại trừ mẫu đá St.xn5.

- Mẫu đá St.xn5 chỉ đạt khả năng yêu cầu về cường độ kháng nén cho sử dụng làm móng đường trong công trình giao thông và không đủ yêu cầu về cường độ kháng nén để dùng làm mặt đường bê tông asphalt trong công trình đường giao thông.

3. Khả năng sử dụng vật liệu đá tự nhiên cho công trình đường giao thông ở Ninh Thuận

3.1 Sử dụng vật liệu đá tự nhiên cho kết cấu móng đường trên

Móng đường bên trên thuộc đường giao thông cấp cao A1, A2 theo tiêu chuẩn thiết kế đường Việt Nam, thường sử dụng vật liệu cấp phối (VLCP) đá dăm loại 1, cấp phối của khoáng tự nhiên phải thỏa mãn TCVN 8859:2023. Công tác thí nghiệm được thực hiện tại phòng thí nghiệm LAS XD 1391 tỉnh Ninh Thuận. Các thí nghiệm được thực hiện theo các tiêu chuẩn hiện hành. Kết quả thí nghiệm tổng hợp được trình bày trong Bảng 4.

Bảng 4. *Tổng hợp kết quả thí nghiệm đá cấp phối làm móng đường trên*

Loại đá cấp phối 1	Điểm lấy mẫu	Độ hao mòn Los Angeles, %		Hàm lượng hạt thoi dẹt, %		Kết quả đầm chặt (g/cm3)		Chỉ số CBR	
		Thực tế	Yêu cầu	Thực tế	Yêu cầu	$W_{tư}$,%	$\gamma_c$max	Thực tế	Yêu cầu
Đá xâm nhập	St.xn1 St.xn2	19.36	<= 35	8.54	<=18	4.99	2.374	160.0	>=100
	St.xn3	18.4	<= 35	9.72	<=18	4.86	2.378	146.0	>=100
	St.xn5	28.41	<= 35	12.8	<=18	-	-	-	"
	TB	21.38	Đạt	10.35	Đạt	4.92	2.376	153.0	Đạt
Đá phun trào	St.pt6	8.2	<=35	12.38	<=18	5.07	2.385	139.0	>=100
	St.pt7	9.6	<= 35	13.73	<=18	5.20	2.38	131.0	>=100
	TB	8.9	Đạt	13.05	Đạt	5.13	2.382	135.0	Đạt
Đá trầm tích lục nguyên St.tt8		20.7	Đạt	11.52	Đạt	4.57	2.375	-	-

Từ kết quả nghiên cứu ở bảng 3, 4, có nhận xét sau: Căn cứ TCVN 8859:2023, các chỉ tiêu cơ lý đá cấp phối sử dụng vào công trình đường giao thông thì chỉ tiêu cường độ kháng nén của đá gốc có tính quyết định. Các chỉ tiêu về cơ lý khác của cấp phối đá chịu sự ảnh hưởng bởi độ cứng của đá. Trong kết quả nghiên cứu, mẫu đá St.xn6, St.xn7 là loại đá phù hợp và tốt hơn các mẫu đá khác cho xây dựng làm móng đường trên. Các mẫu đá còn lại cũng phù hợp cho xây dựng làm móng đường trên trong công trình đường giao thông.

3.2 Sử dụng vật liệu đá tự nhiên cho kết cấu móng đường dưới

Móng đường bên dưới thuộc đường giao thông cấp cao A1, A2 (tiêu chuẩn thiết kế đường Việt Nam) thường sử dụng vật liệu CPĐD loại 2 (Dmax 37.5), cấp phối của khoáng tự nhiên phải thỏa mãn TCVN 8859-2023. Các thí nghiệm được thực hiện theo các tiêu chuẩn hiện hành. Kết quả thí nghiệm tổng hợp được trình bày trong Bảng 5.

Bảng 5. *Tổng hợp kết quả thí nghiệm đá cấp phối làm kết cấu móng đường dưới*

Loại đá cấp phối 2	Điểm lấy mẫu	Độ hao mòn Los Angeles, %		Hàm lượng hạt thoi dẹt, %		Kết quả đầm chặt (g/cm3)	
		Thực tế	Yêu cầu	Thực tế	Yêu cầu	$W_{tư}$,%	$\gamma_c$max
Đá xâm nhập	St.xn1 St.xn2	18.3	<= 40	13.5	<=20	5.97	2.337
	St.xn3	15.2	<= 40	11.0	<=20	5.82	2.335
	St.xn5	24.8	<= 40	9.2	<=20	5.89	2.336
	TBình	19.15	Đạt	11.8	Đạt		
Đá phun trào	St.pt6	8.2	<=40	11.8	<=20	5.16	2.352
	St.pt7	9.7	<= 40	12.7	<=20	5.12	2.350
	TBình	8.9	Đạt	12.3	Đạt	5.09	2.351
Đá trầm tích lục nguyên St.tt8		19.2	Đạt	13.6	Đạt	5.01	2.442

Nhận xét: Các đá nghiên cứu đều đáp ứng yêu cầu để sản xuất đá dăm cấp phối sử dụng làm móng đường dưới trong xây dựng đường giao thông.

3.3 Sử dụng vật liệu đá cấp phối cho mặt đường bê tông Asphalt

Yêu cầu vật liệu đá cấp phối cho lớp mặt đường bê tông Asphalt C19 và C12.5 là các lớp mặt đường bê tông nhựa chặt nóng có cốt liệu lớn Dmax là 19mm và 12,5mm. Trong nội dung này, chỉ nghiên cứu cho 2 loại đá là macma xâm nhập và macma phun trào. Đá trầm tích lục nguyên không thuận tiện cho việc sử dụng vì tính bất đồng nhất về thành phần thạch học khá cao.

Bảng 6. *Giá trị trung bình các chỉ tiêu cơ lý thành phần hạt đá các mẫu - bê tông Asphalt C19*

Chỉ tiêu trung bình các mẫu St.xn4, St.pt6 và St.pt7 - Bê tông Asphalt											
TT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Phương pháp thử	Kết quả - Yêu cầu		Kết quả- Yêu cầu		Kết quả- Yêu cầu		Kết quả - Yêu cầu	
				D (16-19)		D (10-16)		D (5-10)		D (0-5)	
1	Khối lượng thể tích xốp	kG/m³	TCVN 7572-6	1402		1415		1419		1425	
2	Tỷ trọng	g/cm³	AASHTO T85	2,72	≥2,5	2,71	≥2.5	2,71	≥2.5	2.70	≥2,5
3	Lượng hạt thoi dẹt	(%)	TCVN 7572-13	9,2	≤15	9,56	≤15	10,5	≤20		
4	Cường độ nén	(Mpa)	TCVN 7572-10	161	≥100	161	≥100	161	≥100	161	≥100
5	Lượng sét cục - hạt mềm yếu	(%)	AASHTO T112	2,5	≤5	2,8	≤5	2,87	≤5		≤5
6	Độ mài mòn	(%)	TCVN 7572-12	9,5	≤30	11,2	≤30	12,8	≤30		
7	Lượng hạt cuội sỏi bị đập vỡ	(%)	TCVN 7572-18	-	_(1)	-	_(1)	-	_(1)		
8	Độ hút nước	(%)	AASHTO T85	0,22	≤3	0,25	≤3	0,32	≤3	0,37	≤3
9	Độ góc cạnh	(%)	TCVN 11807	59,7	≥40	58,6	>40	57,3	>40	56,9	≥40
10	Lượng hạt < 0,075(mm)	(%)	AASHTO T11	-	≤2	-	≤2	1,0	≤2	1,6	≤2
11	Dính bám đá	Cấp	TCVN 7504	Cấp 3	≥ 3	Cấp 3	≥ 3	Cấp 3	≥ 3		

Sàng (mm)	25	19	16	12.5	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	<
% Lọt sàng	100	95	85.4	74.2	63.9	44.2	33.8	23.0	16.5	9.9	7.4	5.6	
TCVN 13567: 2022 [61]	100	90 - 100	78 - 92	62 - 78	50 - 72	26 - 56	16 - 44	12 - 33	8 -24	5 - 17	4 -13	3 -7	

Nhận xét: Từ bảng 6 cho thấy, các loại đá St.xn4, St.pt6 và St.pt7 thử nghiệm phù hợp về tính chất về cơ lý và đường kính hạt để chế tạo bê tông asphalt. Khi được phối trộn theo tỷ lệ phù hợp sẽ đảm bảo cường độ cho bê tông Asphalt để thoả mãn với hỗn hợp vật liệu khoáng theo quy định hiện hành.

4. Kết luận và kiến nghị

Từ các kết quả nghiên cứu trên có thể kết luận và kiến nghị như sau:

- Ninh Thuận có nguồn đá tự nhiên phong phú, phân bố rộng, trong đó granit và các loại đá phun trào là chủ yếu, có trữ lượng dự báo trên 2,8 tỷ m³.

- Các loại đá xâm nhập và phun trào có tính chất cơ lý tốt, phù hợp sử dụng cho hầu hết các kết cấu giao thông: móng đường trên, móng đường dưới, mặt đường bê tông asphalt. Đá trầm tích lục nguyên có thể sử dụng hạn chế cho móng dưới và san lấp, song chất lượng thấp nên không

khuyến khích dùng cho kết cấu chịu lực chính. Đá phi tiêu chuẩn trong quá trình khai thác sản xuất có thể làm lớp đáy móng đường cũng như nền đường rất tốt.

Kiến nghị :

Ưu tiên khai thác đá granit và đá phun trào để phục vụ các dự án hạ tầng giao thông trọng điểm trong tỉnh. Cần bổ sung quy hoạch khai thác mỏ đá gắn với mạng lưới đường vận tải để giảm chi phí vận chuyển. Tiếp tục nghiên cứu giải pháp cát nghiền từ đá granit nhằm thay thế một phần cát tự nhiên đang khan hiếm. Có biện pháp quản lý chặt chẽ, khai thác hợp lý để bảo vệ môi trường và sử dụng bền vững tài nguyên đá xây dựng của tỉnh.

Tài liệu tham khảo

Đặng Xuân Phú, Phạm Văn An, Hồ Vương Bính, Phạm Văn Thanh. 2006. Một số đặc điểm của đất vùng khô nóng Bình Thuận, Ninh Thuận. *Trung tâm Thông tin, lưu trữ và bảo tàng địa chất,* Cục địa chất Việt Nam. (http://www.idm.gov.vn/nguon_luc/Xuat_ban/2006/A292/a33.htm).

Hoàng Hoa Thám, Nguyễn Quang Tuấn, Nguyễn Văn Phương, 2016. Tổng quan nguồn nguyên liệu làm vật liệu xây dựng ở tỉnh Ninh Thuận và thực trạng khai thác sử dụng chúng. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ*, Trường Đại học Khoa học - Đại học Huế.

Phạm Minh Tân, Bùi Trường Sơn, 2024. Bước đầu nghiên cứu đặc điểm hình thành và khả năng sử dụng nguồn vật liệu xây dựng khoáng tự nhiên phục vụ xây dựng đường giao thông tỉnh Ninh Thuận. *Hội nghị toàn quốc về Khoa học Trái đất và Tài nguyên với phát triển bền vững (ERSD2024), NXB Giao thông vận tải*, ISBN 978-604762277-1.

Tiêu chuẩn Việt Nam: TCVN 8859:20123, TCVN 7570:2006, TCVN 13567:2022, TCVN 7572:2006, TCVN 12792:2020.

Study on the Utilization of Rock Materials for Road Construction in Ninh Thuan Province

Pham Minh Tan[1], Bui Truong Son[2,*]

[1]*Ninh Thuan Traffic Construction Investment Project Management Unit*

[2]*EEG Research Group, Hanoi University of Mining and Geology*

**Corressponding author: Email: buitruongson@humg.edu.vn*

Abstract

The development of transportation infrastructure in Ninh Thuan in recent years has led to a growing demand for construction materials, particularly natural rock for road foundations, pavement layers, asphalt concrete, and cement concrete. This study aims to evaluate the potential use of rock types distributed in Ninh Thuan Province for road construction through an assessment of their distribution, physical-mechanical properties, and performance testing.

The research results show that Ninh Thuan has 22 rock quarries with an estimated total reserve of over 2.8 billion m³, mainly composed of granite and rocks. These rocks exhibit high compressive strength and durability, and most of them meet the requirements of TCVN 8859:2023 and TCVN 7570:2006 standards, making them suitable for use as crushed stone base and asphalt concrete aggregate. In particular, granites of the Deo Ca complex and rocks of the Don Duong formation are evaluated as highly suitable for upper base layers and asphalt pavement.

Keywords: Construction materials, Traffic construction, Ninh Thuan province.

NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG XỈ ĐÁY LÒ NHIỆT ĐIỆN THAY THẾ CÁT TỰ NHIÊN TRONG VỮA XÂY

Nguyễn Văn Hùng[1,*]

[1]*Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

**Tác giả liên hệ: Email: nguyenvanhung.dcct@humg.edu.vn*

Tóm tắt

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu về khả năng sử dụng xỉ đáy lò từ Nhà máy Nhiệt điện thay thế cát tự nhiên trong vữa xây. Trong bối cảnh cát tự nhiên ngày càng khan hiếm và việc khai thác gây tác động tiêu cực đến môi trường, việc tận dụng nguồn phế thải công nghiệp để thay thế một phần vật liệu truyền thống là hết sức cần thiết. Các thí nghiệm được tiến hành xác định các tính chất cơ lý, độ lưu động, cường độ nén, độ bám dính và độ hút nước của vữa có chứa xỉ đáy lò. Kết quả cho thấy, với tỷ lệ thay thế lên tới 100%, xỉ đáy lò có thể sử dụng hiệu quả trong vữa xây dựng, đảm bảo yêu cầu kỹ thuật, góp phần tiết kiệm tài nguyên thiên nhiên và giảm ô nhiễm môi trường.

Từ khoá: vữa xây; xỉ đáy lò; nhiệt điện.

1. Mở đầu

Vữa là hỗn hợp của chất kết dính, cốt liệu nhỏ và nước, có thể thêm phụ gia để đạt tính năng đặc biệt. Hiện nay, do "cát tặc" bị kiểm soát chặt, giá cát xây dựng tăng gấp đôi, gây khan hiếm nghiêm trọng. Trong khi đó, các nhà máy nhiệt điện ở Việt Nam thải ra khoảng 15-30 triệu tấn tro xỉ mỗi năm, riêng An Khánh và Cao Ngạn (tỉnh Thái Nguyên) thải hơn 400 nghìn tấn/năm. Việc tận dụng xỉ đáy lò thay thế cát tự nhiên trong vữa xây dựng vừa giảm chi phí, vừa giải quyết vấn đề môi trường. Đây là hướng phát triển bền vững, góp phần thúc đẩy sử dụng vật liệu xanh trong xây dựng.

2. Tổng quan nghiên cứu

Ở Việt Nam, việc nghiên cứu sử dụng xỉ đáy lò trong vữa xây dựng còn hạn chế, chủ yếu tập trung vào sản xuất gạch không nung, vật liệu san lấp hoặc làm đường. Từ những năm 1980, một số nghiên cứu tại các nhà máy nhiệt điện như Cao Ngạn, Phả Lại, Ninh Bình đã tận dụng tro xỉ làm phụ gia xi măng, bê tông và vật liệu xây dựng, song chủ yếu ở quy mô phòng thí nghiệm. Một số nghiên cứu gần đây (Vũ Thị Chiều Dương, 2011; Ngọ Văn Toản, 2014; Nguyễn Thị Nhiên, 2016; Bùi Trường Sơn, 2019) đã tận dụng tro xỉ trong vật liệu xây dựng, song chủ yếu ở quy mô phòng thí nghiệm.

Trên thế giới, việc ứng dụng tro xỉ trong xây dựng đã được nghiên cứu từ rất sớm. Ngay từ năm 1914, tro bay đã được dùng thay thế một phần xi măng Poóc-lăng trong bê tông. Nhiều nghiên cứu gần đây (Amin Salvador Nazer, 2012; Suresh & Nagaraju, 2015; Patil, 2015; Zeyad, 2017; Phanikumar, 2017) đã chứng minh rằng tro xỉ và xỉ đáy lò có thể thay thế một phần cát hoặc xi măng, giúp tăng cường độ, giảm chi phí, cải thiện tính công tác và thân thiện môi trường.

Tuy nhiên, các nghiên cứu về việc sử dụng xỉ đáy lò thay thế cát tự nhiên trong vữa xây dựng vẫn còn rất ít, mở ra một hướng nghiên cứu tiềm năng trong thời gian tới.

3. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là xỉ đáy lò của Nhà máy Nhiệt điện An Khánh và Cao Ngạn (tỉnh Thái Nguyên).

Nghiên cứu đã sử dụng tổng hợp các phương pháp nghiên cứu như:

- Thu thập, tổng hợp, phân tích các tài liệu đã có liên quan đến lĩnh vực nghiên cứu;

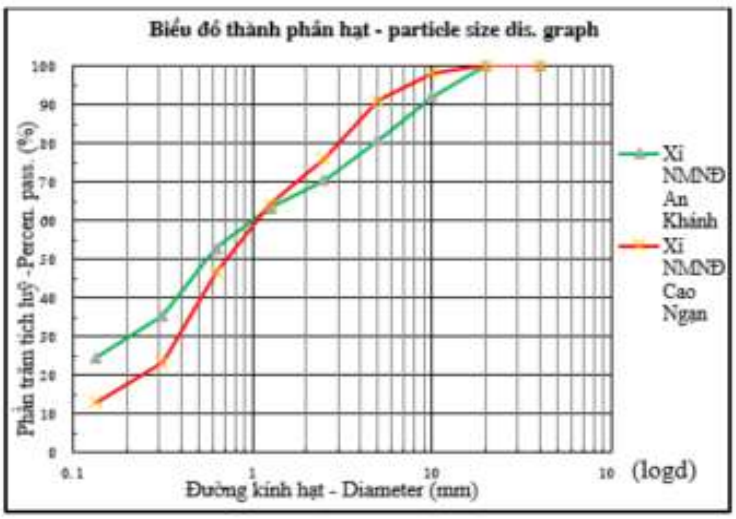
Phương pháp thực nghiệm trong phòng xác định các chỉ tiêu vật lý, cơ học, hóa học của xỉ đáy lò cũng như các tính chất kỹ thuật của vữa sử dụng xỉ đáy lò.

Các thí nghiệm bao gồm: xác định thành phần hạt, thành phần hóa học, khoáng vật, tính chất cơ lý của xỉ; thiết kế cấp phối vữa có xỉ thay thế cát tự nhiên; kiểm tra các chỉ tiêu cơ bản của vữa theo TCVN như độ lưu động, cường độ nén, cường độ uốn, độ bám dính và độ hút nước.

4. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

4.1. Thành phần hạt của xỉ đáy lò NMNĐ An Khánh và Cao Ngạn

Các mẫu xỉ đáy lò được lấy tại bãi thải của Nhà máy Nhiệt điện An Khánh và Cao Ngạn, sau đó trộn đều và tiến hành thí nghiệm tại Phòng thí nghiệm Địa kỹ thuật công trình, Bộ môn Địa chất công trình, Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Kết quả nghiên cứu thành phần hạt của xỉ đáy lò NMNĐ được thể hiện trong biểu đồ 1.



Hình 1. Biểu đồ hàm lượng phần trăm tích luỹ các nhóm hạt của xỉ đáy lò NMNĐ An Khánh và Cao Ngạn

Bảng 1. *So sánh cấp phối hạt của xỉ đáy lò NMNĐ An Khánh và Cao Ngạn với tiêu chuẩn TCVN 1770: 1986*

Nhóm hạt, mm	Lượng sót tích luỹ A_i,%		Lượng sót tích luỹ yêu cầu theo TCVN 1770: 1986	
	NMNĐ Cao Ngạn	MNĐ An Khánh	Cát hạt to, vừa (Vùng 1)	Cát hạt nhỏ (Vùng 2)
10	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0
2,5	16,5	13,1	0,0-20,0	0,0
1,25	29,6	21,7	15,0-45,0	0,0-15,0
0,63	48,8	34,6	30,0-70,0	5,0-35,0
0,315	74,3	56,3	65,0-90,0	20,0-65,0
0,14	85,6	69,5	90,0-100	75,0-90,0
$M_{đl}$	2,5	1,95	Vừa: 1-2,5 To: 2,5-3,3	1,0-2,0
Đánh giá	**Không đạt**	**Không đạt**		

Căn cứ vào Bảng 1 và Hình 1, cả hai loại xỉ đáy lò từ NMNĐ An Khánh và Cao Ngạn đều có đường cấp phối không nằm hoàn toàn trong vùng 1 (cát hạt to) hoặc vùng 2 (cát hạt nhỏ) theo TCVN 1770:1986 - Cát xây dựng - Yêu cầu kỹ thuật. Do đó, để có thể sử dụng làm cốt liệu cho vữa xây dựng, cần thiết phải điều chỉnh lại cấp phối hạt cho phù hợp.

Xỉ đáy lò của NMNĐ Cao Ngạn có thành phần hạt mịn hơn, chất lượng tổng thể thấp hơn so với NMNĐ An Khánh, vì vậy cần được đánh giá cụ thể hơn về khả năng ứng dụng trong thực tế.

Nghiên cứu đã phối trộn các cỡ hạt với nhau để đạt được cấp phối hạt đáp ứng theo tiêu chuẩn. Thành phần hạt của xỉ đáy lò các nhà máy nhiệt điện sau phối trộn được thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. *Cấp phối xỉ đáy lò trong nghiên cứu*

Nhóm hạt, mm	Lượng sót tích luỹ A_i,%	Lượng sót tích luỹ yêu cầu theo TCVN 1770: 1986
	Xỉ dùng cho vữa xây	Cát hạt to, vừa (vữa xây)
10	0,0	0,0
5	0,0	0,0
2,5	18,0	0,0-20,0
1,25	33,3	15,0-45,0
0,63	64,2	30,0-70,0
0,315	86,7	65,0-90,0
0,14	93,4	90,0-100
Hàm lượng phần trăm a_i,%		
<0,14	6,6	<20
$M_{đl}$	2,96	Vừa: 1-2,5 To: 2,5-3,3
Đánh giá	Đạt	

4.2. Xác định cấp phối của vữa xây

Cấp phối, đặc biệt là tỷ lệ nước/xi măng (N/X), có ảnh hưởng lớn đến tính chất của vữa như độ lưu động, khối lượng thể tích và độ đồng nhất. Việc thiết kế được thực hiện theo phương pháp Bolomey-Scramtaev, song với xỉ đáy lò cần tăng lượng nước và xi măng để đạt độ lưu động yêu cầu. Sau khi hiệu chỉnh cấp phối, mẫu được đúc, bảo dưỡng và thí nghiệm trong điều kiện tiêu chuẩn để đánh giá các chỉ tiêu kỹ thuật của vữa. Bảng 3 thể hiện cấp phối của vữa xây trong nghiên cứu.

Bảng 3. *Cấp phối cho 1m³ vữa xây sử dụng xỉ đáy lò*

STT	Ký hiệu mẫu	Xỉ đáy lò (kg)	Cát hạt to (kg)	Nước (l)	Xi măng (kg)	Ghi chú
1	AK1-15%	1319	0	269	292	-15% xi măng
2	AK1	1267	0	304	329	
3	AK2	1240	0	298	371	+15% xi măng
4	AK3	1219	0	351	382	+20% xi măng
5	AK4	1029	329	303	329	
6	AK5	792	639	307	332	
7	AK6	514	953	299	324	
8	CN1-15%	1288	0	279	303	-15% xi măng
9	CN1	1262	0	349	349	
10	CN2	1209	0	386	385	+15% xi măng
11	CN3	1184	0	403	395	+20% xi măng
12	CN4	1002	336	341	341	
13	CN5	715	641	372	333	
14	CN6	483	965	303	329	
15	CV	0	1555	295	320	

4.3. Các tính chất kỹ thuật của vữa xây trong nghiên cứu

** Độ lưu động*

Thí nghiệm xác định độ lưu động được tiến hành bằng cách cho lượng nước theo tiêu chuẩn, nếu độ lưu động không đạt thì có thể tăng hoặc giảm lượng nước cho phù hợp.

Kết quả thí nghiệm độ lưu động của vữa tươi được thể hiện trong Bảng 4.

Bảng 4. *Kết quả thí nghiệm độ lưu động của vữa sử dụng xỉ đáy lò*

STT	Ký hiệu mẫu	Độ lưu động, mm	Đánh giá	STT	Ký hiệu mẫu	Độ lưu động, mm	Đánh giá
1	AK1-15%	**150**	Không đạt	9	CN1	175	Đạt
2	AK1	170	Đạt	10	CN2	170	Đạt
3	AK2	165	Đạt	11	CN3	165	Đạt
4	AK3	200	Đạt	12	CN4	175	Đạt
5	AK4	170	Đạt	13	CN5	180	Đạt
6	AK5	175	Đạt	14	CN6	185	Đạt
7	AK6	185	Đạt	15	CV	195	Đạt
8	CN1-15%	**145**	Không đạt				

** Cường độ kháng nén, uốn và kéo*

Cường độ kháng nén của mẫu được xác định thông qua thí nghiệm nén một trục trong phòng thí nghiệm. Kết quả nén mẫu ở 7 ngày, 14 ngày, 28 ngày và 300 ngày tuổi ở trong phòng được thể hiện trong bảng 5.

Bảng 5. *Cường độ kháng nén của mẫu vữa xây ở các ngày tuổi*

STT	Mẫu	Cường độ kháng nén theo ngày tuổi, MPa			
		7 ngày	14 ngày	28 ngày	300 ngày
1	AK1-15%	6.4	7.3	8.2	10.2
2	AK1	10.6	14.0	16.4	18.3
3	AK2	13.7	17.7	22.9	23.3
4	AK3	15.0	19.4	24.8	25.1
5	AK4	12.8	14.9	18.1	19.1
6	AK5	10.5	12.3	14.2	15.6
7	AK6	10.2	12.5	12.8	16.2
8	CN1-15%	5.9	6.8	7.6	8.2
9	CN1	6.5	10.1	12.7	14.0
10	CN2	7.9	11.2	15.9	16.8
11	CN3	9.3	12.8	17.7	19.2
12	CN4	6.1	7.2	12.4	14.6
13	CN5	5.8	8.3	12.4	15.2
14	CN6	6.3	7.7	10.9	18.3
15	CV	11.0	12.6	13.2	19.6

Cường độ kháng uốn của mẫu vữa được xác định bằng cách lần lượt chất tải lên 3 khối vữa đã đóng rắn được bảo dưỡng theo các ngày tuổi ở điều kiện tiêu chuẩn cho đến khi mẫu bị phá huỷ. Cường độ kháng uốn của các mẫu được trình bày ở bảng 6.

Bảng 6. *Cường độ kháng uốn của mẫu vữa xây ở các ngày tuổi*

STT	Mẫu	Cường độ kháng uốn theo ngày tuổi, MPa			
		7 ngày	14 ngày	28 ngày	300 ngày
1	AK1-15%	0.5	0.62	0.81	0.98
2	AK1	0.53	0.88	1.01	1.22
3	AK2	0.83	0.86	0.88	1.25
4	AK3	0.7	0.88	0.96	1.47

STT	Mẫu	Cường độ kháng uốn theo ngày tuổi, MPa			
		7 ngày	14 ngày	28 ngày	300 ngày
5	AK4	0.84	0.88	0.91	1.24
6	AK5	0.62	0.8	0.81	1.31
7	AK6	0.54	0.82	0.83	1.35
8	CN1-15%	0.31	0.56	0.68	0.62
9	CN1	0.35	0.67	0.72	0.87
10	CN2	0.35	0.7	0.74	0.89
11	CN3	0.4	0.7	0.87	0.95
12	CN4	0.33	0.67	0.75	0.88
13	CN5	0.29	0.32	0.75	0.92
14	CN6	0.35	0.63	0.76	0.98
15	CV	0.56	0.66	0.93	1.28

Cường độ kháng kéo của mẫu vữa đã đóng rắn được xác định từ giá trị cường độ kháng uốn của mẫu vữa thông qua công thức 1 được đề xuất bởi Model Code 90:

$$R_k = 0.06h^{0.7}. R_u/ (1+0.06h^{0.7}) \quad (1)$$

Trong đó:

R_k là cường độ kháng kéo của mẫu, MPa;

R_u là cường độ kháng uốn của mẫu, MPa;

h là chiều cao của mẫu, (h=40mm).

Kết quả cường độ kháng kéo của mẫu được trình bày trong bảng 7.

Bảng 7. *Cường độ kháng kéo của mẫu vữa xây ở các ngày tuổi*

STT	Mẫu	Cường độ kháng kéo theo ngày tuổi, MPa			
		7 ngày	14 ngày	28 ngày	300 ngày
1	AK1-15%	0.22	0.27	0.36	0.43
2	AK1	0.23	0.39	0.45	0.54
3	AK2	0.37	0.38	0.39	0.55
4	AK3	0.31	0.39	0.42	0.65
5	AK4	0.37	0.39	0.40	0.55
6	AK5	0.27	0.35	0.36	0.58
7	AK6	0.24	0.36	0.37	0.60
8	CN1-15%	0.14	0.25	0.30	0.27
9	CN1	0.15	0.30	0.32	0.38
10	CN2	0.15	0.31	0.33	0.39
11	CN3	0.18	0.31	0.38	0.42
12	CN4	0.15	0.30	0.33	0.39
13	CN5	0.13	0.14	0.33	0.41
14	CN6	0.15	0.28	0.34	0.43
15	CV	0.25	0.29	0.41	0.57

** Cường độ bám dính của vữa đã đóng rắn trên nền.*

Cường độ bám dính của vữa đã đóng rắn trên nền thể hiện khả năng liên kết giữa lớp vữa và bề mặt vật liệu nền (gạch, bê tông, đá...).

Chỉ tiêu này phản ánh độ bền dính kết, ảnh hưởng trực tiếp đến tuổi thọ, độ ổn định và khả năng chịu lực của công trình. Cường độ bám dính càng cao thì lớp vữa càng khó bị bong tróc, nứt tách hoặc thấm nước, đảm bảo chất lượng và độ bền của hạng mục xây trát.

Kết quả thí nghiệm xác định độ bám dính của các mẫu vữa được thể hiện trong Bảng 8.

Bảng 8. *Độ bám dính của vữa sử dụng tro xỉ NMNĐ An Khánh và Cao Ngạn*

STT	Ký hiệu mẫu	Độ bám dính, MPa	STT	Ký hiệu mẫu	Độ bám dính, MPa
1	AK1-15%	0.92	9	CN1	0.76
2	AK1	1.34	10	CN2	0.79
3	AK2	1.39	11	CN3	0.88
4	AK3	1.52	12	CN4	0.79
5	AK4	1.36	13	CN5	0.81
6	AK5	1.32	14	CN6	0.91
7	AK6	1.38	15	CV	1.42
8	CN1-15%	0.52			

** Độ hút nước của vữa xây*

Độ hút nước của mẫu vữa đánh giá mức độ ngấm nước của vữa. Do đó, đây là chỉ tiêu đánh giá khả năng hút ẩm của công trình xây dựng. Tuy nhiên, hiện nay để khắc phục độ thấm nước của công trình, người ta sử dụng sơn bả chống thấm mặt ngoài cho công trình hoặc phụ gia khi tiến hành đổ bê tông hoặc xây, trát.

Kết quả thí nghiệm xác định độ hút nước của mẫu vữa được thể hiện trong bảng 3.18.

Bảng 9. *Độ hút nước của vữa sử dụng tro xỉ NMNĐ An Khánh và Cao Ngạn*

STT	Ký hiệu mẫu	Độ hút nước, H,%	STT	Ký hiệu mẫu	Độ hút nước, H,%
1	AK1-15%	17.3	9	CN1	15.3
2	AK1	8.0	10	CN2	13.9
3	AK2	6.3	11	CN3	8.1
4	AK3	5.4	12	CN4	14.2
5	AK4	6.5	13	CN5	13.1
6	AK5	6.1	14	CN6	12.5
7	AK6	4.7	15	CV	10.5
8	CN1-15%	17.5			

*** Thảo luận**

Kết quả thí nghiệm cho thấy xỉ đáy lò An Khánh và Cao Ngạn có thành phần hạt của xỉ đáp ứng tiêu chuẩn TCVN 1770:1986 về cát xây dựng khi được sàng lọc và phối trộn hợp lý. Vữa có chứa xỉ đáy lò vẫn đảm bảo độ lưu động và khả năng thi công. Các thí nghiệm cơ học chỉ ra rằng, khi thay thế 0-100% cát bằng xỉ đáy lò, cường độ nén và uốn của vữa đạt tương đương hoặc cao hơn so với mẫu đối chứng dùng hoàn toàn cát tự nhiên, tuy nhiên phải tăng hàm lượng xi măng. Độ bám dính, hút nước cũng nằm trong giới hạn cho phép theo tiêu chuẩn.

5. Kết luận và kiến nghị

5.1. Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy xỉ đáy lò của NMNĐ An Khánh và Cao Ngạn là vật liệu hạt thô, không đáp ứng tiêu chuẩn TCVN 1770:1986 cho cát xây dựng, nên cần thiết kế lại cấp phối hạt nếu dùng làm nguyên liệu thay thế cát tự nhiên. Mẫu xỉ An Khánh có tỷ lệ hạt mịn (d < 0,14 mm) cao hơn nhiều so với Cao Ngạn (30,5% so với 14,4%).

Thí nghiệm cho thấy, các mẫu vữa có xỉ đáy lò thay thế cát tự nhiên đạt yêu cầu kỹ thuật, trong khi các mẫu giảm xi măng 15% thì không đạt. Việc dùng xỉ đáy lò giúp giảm áp lực môi trường,

tiết kiệm tài nguyên, hạn chế sạt lở bờ sông và có hiệu quả kinh tế cao hơn. Tuy nhiên, cần lưu ý đến độ hấp phụ nước và tính thẩm mỹ.

5.2. Kiến nghị:

- Có thể thay thế cát tự nhiên 100% bằng xỉ đáy lò, nhưng với xỉ Cao Ngạn cần tăng lượng xi măng để kiểm soát độ hút nước.

- Cấp phối đề xuất: An Khánh - AK1; Cao Ngạn - CN3 (vữa xây)

- Ứng dụng trước trong công trình nhỏ, công ích hoặc vùng thiếu cát, đồng thời mở rộng nghiên cứu ở cấp cao hơn về vật liệu tái chế trong vữa xây dựng.

.

Tài liệu tham khảo

Abdullah Mohsen Ahmed Zeyad, Abdullah Mustafa Saba, 2017. Influence of Fly Ash on the Properties of Self-CoMPacting Fiber Reinforced Concrete. Journal of Steel tructures and Construction, an open access journal, issn: 2472-0437.

Amin Salvador Nazer, Osvaldo Pavez, Freddy Rojas, 2012. Use of Copper Slag in Cement mortar. Rev. Esc. Minas Vol.65 vo.1 Ouro Preto Jan./Mar. 2012.

ASTM C55-17. Standard Specification for Concrete Building Brick, ASTM International, West Conshohocken.

Br Phanikumar, 2017. Compaction and Strength Characteristics of Lime-Blended Fly Ash. International Journal of Waste Resources 7: 272. doi: 10.4172/2252-5211.1000272. ISSN: 2252-5211

Bùi Trường Sơn, 2017. Nghiên cứu sử dụng tro xỉ nhà máy nhiệt điện tỉnh Thái Nguyên trong xây dựng đường giao thông phục vụ phát triển bền vững và bảo vệ môi trường. Đề tài NCKH cấp tỉnh năm 2017.

Catarina Neno, Jorge de Brito, Rosário Veiga (2014). Using fine recycled concrete aggregate for mortar production. Material research 2014; 17 (1): 168-177.

D. Suresh, K. Nagaraju, 2015. Ground Granulated Blast (GGBS) In concrete - A review. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE) e-ISSN" 2278-1684, p-ISN:2320-334X, Volume 12, Issue 4 Ver. VI, pp76-82.

H. K. Kim, Hak Kyu Lee (2013). Effects of High Volumes of Fly Ash , Blast Furnace Slag , and Bottom Ash on Flow Characteristics , Density , and Compressive Strength of High-Strength Mortar.

http://nangluongvietnam.vn/news/vn/khoa-hoc-va-cong-nghe/tinh-hinh-va phuong-huong-tai-che-su-dung-tro-xi-cua-cac-nha-may-nhiet-dien-o-viet-nam.html.

Iván Martínez, Miren Etxeberria, Elier Pavón, Nelson Díaz (2013). A coMParative analysis of the properties of recycled and naturalaggregate in masonry mortars. Construction and Building Materials 49 (2013) 384-392.

Julian Thamboo, Navodi Jayarathne, Amith Bandara (2019) .Characterisation and mix specifcation of commonly used masonry mortars. SN Applied Sciences (2019) 1:292.

Research on the use of coal bottom ash as a replacement for natural sand in masonry mortar

Nguyen Van Hung[1,*]
[1]*Hanoi University of Mining and Geology*
**Corresponding author: Email:nguyenvanhung.dcct@humg.edu.vn*

Abstract

The paper presents the research results on the potential use of bottom ash from thermal power plants as a replacement for natural sand in masonry mortar. In the context of increasing scarcity of natural sand and the negative environmental impacts caused by its extraction, utilizing industrial

waste to substitute part of traditional materials is essential. Experiments were conducted to determine the physical and mechanical properties, flowability, compressive strength, adhesion, and water absorption of mortars containing bottom ash. The results indicate that with a replacement ratio of up to 100%, bottom ash can be effectively used in construction mortars while meeting technical requirements, contributing to natural resource conservation and environmental prote.

Keywords: masonry mortar; bottom ash; thermal power plant.

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA LƯỢNG MƯA TỚI ỔN ĐỊNH NỀN ĐƯỜNG ĐẮP CAO TRÊN TUYẾN CAO TỐC ĐỒNG ĐĂNG - TRÀ LĨNH BẰNG MÔ PHỎNG SỐ

Nguyễn Bá Đồng[1], Nguyễn Đức Hạnh[1,*]
[1]Trường Đại học Giao thông vận tải
**Tác giả liên hệ: Email: duchanhdkt@utc.edu.vn*

Tóm tắt

Sạt lở đất do mưa là một trong những tai biến địa chất phổ biến, ảnh hưởng trực tiếp đến sự an toàn của các công trình hạ tầng giao thông tại các vùng đồi núi Việt Nam. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu định lượng ảnh hưởng của các kịch bản lượng mưa khác nhau đến sự ổn định của nền đường đắp cao bằng phương pháp mô phỏng số. Đối tượng nghiên cứu là mặt cắt điển hình tại Km31+056 thuộc dự án cao tốc Đồng Đăng - Trà Lĩnh. Bằng cách sử dụng bộ phần mềm GeoStudio, nghiên cứu đã kết hợp module SEEP/W để phân tích dòng thấm không ổn định và module SLOPE/W để đánh giá ổn định mái dốc. Quá trình mô phỏng cho thấy hệ số an toàn (Fs) của bờ dốc giảm một cách rõ rệt khi lưu lượng mưa tăng. Cụ thể, hệ số an toàn giảm từ giá trị ổn định Fs = 1.330 ở điều kiện không mưa xuống còn Fs = 0.622 khi lưu lượng mưa đạt $3x10^{-5}$ $m^3/sec/m^2$. Kết quả này khẳng định vai trò quyết định của lượng mưa trong việc làm suy giảm sức kháng cắt của đất thông qua việc gia tăng áp lực nước lỗ rỗng, từ đó gây mất ổn định bờ dốc. Nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học quan trọng cho công tác dự báo và đề xuất các giải pháp gia cố, thoát nước hiệu quả.

Từ khóa: ổn định bờ dốc; lượng mưa; nền đường đắp cao; SlopeW, SeepW.

1. Đặt vấn đề

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu ngày càng gia tăng các hiện tượng thời tiết cực đoan, sạt lở đất tại các sườn dốc đã trở thành một thách thức nghiêm trọng, đặc biệt tại các vùng đồi núi Việt Nam. Các tuyến đường giao thông, nhất là các công trình nền đường đắp cao trên sườn dốc, rất nhạy cảm với nguy cơ này. Mưa lớn và kéo dài được xác định là nguyên nhân chính kích hoạt các vụ trượt lở. Nước mưa thấm vào đất làm thay đổi các tính chất cơ lý theo hướng bất lợi: tăng áp lực nước lỗ rỗng, giảm sức kháng cắt, tăng khối lượng thể tích của đất, và cuối cùng dẫn đến mất ổn định.

Tại Việt Nam, nhiều vụ sạt lở nghiêm trọng đã được ghi nhận trên các tuyến quốc lộ ở khu vực đồi núi, thường xảy ra vào mùa mưa, gây thiệt hại lớn về người, tài sản và làm gián đoạn giao thông. Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu về ổn định mái dốc, các đánh giá định lượng về mối quan hệ giữa các kịch bản mưa khác nhau và sự suy giảm hệ số ổn định vẫn còn hạn chế.

Nghiên cứu tập trung vào việc phân tích cơ chế tác động của lượng mưa đến sự ổn định của bờ dốc nền đường đắp cao; Đánh giá sự thay đổi của hệ số an toàn dưới các kịch bản lưu lượng mưa khác nhau thông qua công cụ mô phỏng số từ đó cung cấp cơ sở khoa học cho việc dự báo, cảnh báo sớm nguy cơ sạt lở và đề xuất các giải pháp giảm thiểu rủi ro hiệu quả.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

2.1 Cơ chế ảnh hưởng của mưa đến ổn định bờ dốc

Sự ổn định của một mái dốc phụ thuộc vào sự cân bằng giữa các lực gây trượt (chủ yếu là thành phần trọng lực của khối đất) và các lực chống trượt (sức kháng cắt của đất). Mưa được xác định là tác nhân kích hoạt chính gây ra các vụ trượt lở, đặc biệt tại các vùng đồi núi Việt Nam. Quá trình nước mưa thấm vào đất làm thay đổi các tính chất cơ lý theo hướng bất lợi, phá vỡ trạng thái cân bằng tự nhiên của mái dốc. Cơ chế phá hoại này có thể xảy ra theo dạng trượt nông hoặc trượt sâu, tùy thuộc vào chiều dày lớp đất, độ chặt và đặc tính của mưa.

Quá trình mất ổn định do mưa là một cơ chế thủy văn - cơ học phức tạp, bao gồm các tác động chính sau: (1) Thay đổi áp lực nước lỗ rỗng và làm suy giảm sức kháng cắt của đất; (2) Tăng trọng lượng của khối đất; (3) Xói mòn bề mặt và phá vỡ chân dốc; (4) Ảnh hưởng của các yếu tố khí hậu và đặc điểm cơn mưa và (5) Ảnh hưởng của đặc tính đất và cấu trúc địa chất

Có thể nói, mưa tác động đến ổn định bờ dốc thông qua một chuỗi các quá trình phức tạp, trong đó việc gia tăng áp lực nước lỗ rỗng và làm suy giảm sức kháng cắt của đất là cơ chế chủ đạo. Sự kết hợp giữa các yếu tố nội tại (địa hình, địa chất, đặc tính đất) và các yếu tố kích hoạt từ bên ngoài (cường độ, thời gian mưa) quyết định thời điểm và quy mô của các vụ sạt lở.

2.2 Các phương pháp phân tích ổn định

Việc đánh giá ổn định mái dốc là một bài toán địa kỹ thuật phức tạp (Bùi Anh Định, 2013; Phan Trường Phiệt, 2001). Hiện nay, có hai phương pháp chính được sử dụng rộng rãi là Phương pháp Cân bằng Giới hạn (Limit Equilibrium Method - LEM) và Phương pháp Phần tử Hữu hạn (Finite Element Method - FEM).

Phương pháp Cân bằng Giới hạn (LEM) là phương pháp truyền thống, dựa trên nguyên tắc giả định trước một mặt trượt tiềm năng (thường là cung tròn), sau đó chia khối đất phía trên thành các thỏi thẳng đứng để phân tích trạng thái cân bằng tới hạn. Hệ số an toàn (Fs) được xác định bằng tỷ số giữa tổng lực (hoặc mô men) chống trượt và tổng lực (hoặc mô men) gây trượt. Có nhiều phương pháp tính toán cụ thể trong LEM như Fellenius, Bishop đơn giản hóa, Spencer và Morgenstern-Price, khác biệt chủ yếu ở các giả thiết về lực tương tác giữa các thỏi đất. Mặc dù phương pháp này tính toán nhanh và hiệu quả, nhược điểm chính của nó là phải giả định trước mặt trượt và không xét đến quan hệ ứng suất - biến dạng của đất (Duncan, 2005).

Phương pháp Phần tử Hữu hạn (FEM) là phương pháp số hiện đại, phân tích trạng thái ứng suất - biến dạng của toàn bộ khối đất mà không cần giả định trước mặt trượt. Mặt trượt nguy hiểm nhất sẽ tự động hình thành tại khu vực có biến dạng cắt lớn nhất khi khối đất mất ổn định. Hệ số an toàn trong FEM thường được xác định thông qua kỹ thuật giảm sức kháng cắt (Shear Strength Reduction - SSR), bằng cách giảm dần các thông số sức kháng cắt của đất (lực dính c và góc ma sát trong φ) cho đến khi khối đất đạt đến trạng thái phá hoại. Ưu điểm vượt trội của FEM là khả năng mô phỏng các điều kiện địa chất phức tạp và cung cấp thông tin chi tiết về biến dạng của mái dốc.

Nhiều nghiên cứu so sánh cho thấy kết quả hệ số an toàn tính từ hai phương pháp là tương đối giống nhau, với mức chênh lệch thường không quá 10%. Trong đó, phương pháp FEM có xu hướng cho kết quả thiên về an toàn hơn. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng phương pháp kết hợp, tận dụng ưu điểm của cả hai phương pháp thông qua bộ phần mềm GeoStudio. Cụ thể:

• **Module SEEP/W:** Sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) để phân tích dòng thấm không ổn định do mưa, mô phỏng chính xác sự thay đổi áp lực nước lỗ rỗng trong khối đất theo thời gian.

• **Module SLOPE/W:** Sử dụng phương pháp cân bằng giới hạn (LEM), cụ thể là phương pháp Morgenstern-Price, để tính toán hệ số an toàn. Dữ liệu áp lực nước lỗ rỗng từ SEEP/W được tích hợp trực tiếp vào SLOPE/W, cho phép đánh giá chính xác ảnh hưởng của mưa đến sự ổn định của bờ dốc.

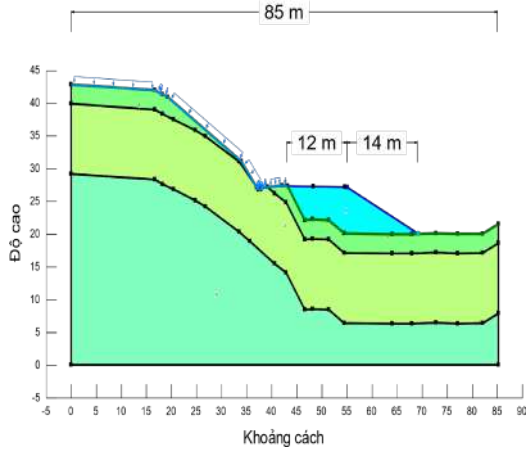
2.3 Mô hình nghiên cứu và thông số đầu vào

Nghiên cứu lựa chọn mặt cắt tại lý trình Km31+056 thuộc dự án đường cao tốc Đồng Đăng - Trà Lĩnh làm đối tượng mô phỏng. Đây là một công trình nền đường đắp cao trên sườn dốc tự nhiên, một dạng địa hình phổ biến ở các vùng đồi núi Việt Nam, tiềm ẩn nguy cơ sạt lở cao, đặc biệt khi có mưa lớn kéo dài.

Hình 1. Mặt bằng phân chia khu vực nghiên cứu

Đoạn tuyến có chiều dài 121 km, nối thị trấn Đồng Đăng thuộc huyện Cao Lộc, tỉnh Lạng Sơn với thị trấn Trà Lĩnh thuộc huyện Trùng Khánh, tỉnh Cao Bằng. Trong đó đoạn qua Lạng Sơn khoảng 52 km và đoạn qua Cao Bằng hơn 69 km. Trong giai đoạn một, cao tốc được thiết kế 80 km/h, mặt đường rộng 17 m; đối với các đoạn địa hình khó khăn, mặt đường rộng 13,5 m. Nhiều đoạn nền đường đắp cao trên sườn dốc, tiềm ẩn nguy cơ mất ổn định.

Mô hình hình học của mặt cắt được xây dựng dựa trên bản vẽ thiết kế kỹ thuật, với chiều cao nền đắp lớn và mái taluy có độ dốc đáng kể. Nghiên cứu lựa chọn mặt cắt tại Km31+056 của dự án cao tốc Đồng Đăng - Trà Lĩnh làm đối tượng mô phỏng. Đây là một nền đường đắp cao trên sườn dốc tự nhiên, tiềm ẩn nguy cơ mất ổn định cao. Các thông số cơ lý của các lớp đất (đất đắp, lớp 4a, 4c, lớp 10) được lấy từ kết quả khảo sát địa chất công trình, bao gồm trọng lượng riêng (γ), lực dính đơn vị (c), và góc ma sát trong (φ). Các tham số không bão hòa dựa vào đường cong cấp phối của đất và hướng dẫn của phần mềm Geostudio.



Hình 2. Mặt cắt tính toán Km31 +056

Bảng 1. *Thông số đầu vào*

Lớp đất	Các thông số đầu vào		
	γ (kN/m³)	c (kPa)	φ
Lớp 10	25.8	243	38.37
Lớp 4a	19.97	21.2	15.3
Lớp 4c	19.84	18.84	14.8
Đất đắp	20	28.5	22.5

Theo thống kê, lượng mưa trung bình năm của tỉnh dao động 1.000 - 1.900 mm. So sánh với các tỉnh trong vùng trung du và miền núi Bắc Bộ, lượng mưa của Cao Bằng tương đối thấp (Hà Giang: 1.990 mm, Thái Nguyên 1.700 mm, Lào Cai: 1.814 mm). Do ảnh hưởng của địa hình, lượng mưa phân bố không đều: vùng mưa nhiều: 1.500 - 1.900 mm/năm gồm: huyện Nguyên Bình, huyện Hạ Lang, bắc huyện Hà Quảng, Trà Lĩnh (huyện Trùng Khánh), Quảng Uyên (huyện Quảng Hòa). Vùng mưa trung bình: 1.300 - 1.500 mm/năm gồm các huyện: Hà Quảng, Hoà An, Trùng Khánh. Vùng mưa ít: 1.000 - 1.300 mm/năm gồm: huyện Thạch An, thung lũng Bảo Lạc, Phục Hoà (huyện Quảng Hòa).

Để mô phỏng tác động của mưa, một điều kiện biên lưu lượng (flux boundary) được áp đặt lên bề mặt mái dốc và mặt đường. Nghiên cứu tiến hành phân tích ổn định dưới 8 kịch bản lưu lượng mưa (q) khác nhau để đánh giá sự suy giảm của hệ số an toàn một cách có hệ thống: từ

trường hợp không mưa (q = 0 $m^3/s/m^2$) đến các kịch bản với lưu tượng mưa tăng dần (q = $5x10^{-7}$ $m^3/s/m^2$; q = $1x10^{-6}$ $m^3/s/m^2$; q = $5x10^{-6}$ $m^3/s/m^2$; q = $1x10^{-5}$ $m^3/s/m^2$; q = $2x10^{-5}$ $m^3/s/m^2$ và q = $3x10^{-5}$ $m^3/s/m^2$). Các kịch bản này bao phủ một dải rộng từ mưa nhỏ đến mưa rất lớn, cho phép xác định được ngưỡng cường độ mưa nguy hiểm gây mất ổn định cho bờ dốc.

Bên cạnh đó, để phân tích thấm trong đất không bão hòa bằng SEEP/W, cần xác định hai hàm quan trọng: Đường cong đặc trưng đất - nước (SWCC) và hàm thấm thủy lực (Permeability Function). Do không có điều kiện thí nghiệm trực tiếp các thông số này, nghiên cứu đã sử dụng các hàm được tích hợp sẵn trong cơ sở dữ liệu của phần mềm GeoStudio dựa trên mô hình Van Genuchten, vốn được xây dựng từ các kết quả nghiên cứu đã được công bố. Cách tiếp cận này là hợp lý trong điều kiện hạn chế về dữ liệu thí nghiệm và vẫn đảm bảo tính khoa học của mô hình (Nguyễn Văn Du và nnk., 2025; Phạm Quang Hưng và nnk., 2012; Rahimi và nnk., 2011).

3. Kết quả và thảo luận

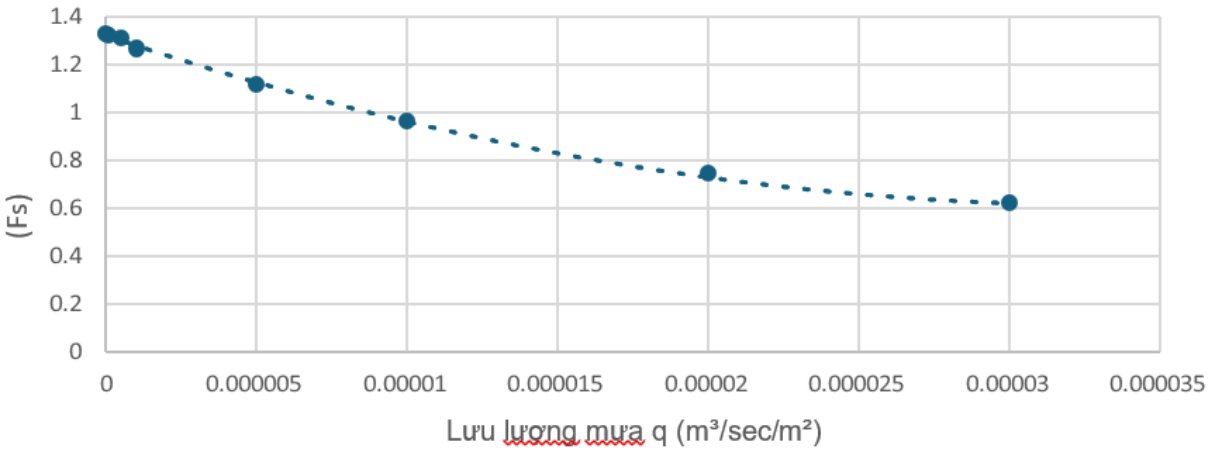
3.1 Kết quả

Kết quả mô phỏng cho thấy mối tương quan chặt chẽ và nghịch biến giữa lưu lượng mưa và hệ số an toàn của bờ dốc được chỉ ra ở bảng 2 và hình 3. Kết quả từ tính toán trên bảng 2 và hình 3 cho thấy một xu hướng rõ ràng: lượng mưa càng lớn, hệ số an toàn của bờ dốc càng giảm. Ở điều kiện không mưa (q=0): Bờ dốc ở trạng thái ổn định với Fs = 1,330, cao hơn mức yêu cầu (Fs ≥ 1,25), trong khi đó khi có mưa với lưu lượng thấp (đến $1x10^{-6}$ $m^3/s/m^2$) thì hệ số an toàn giảm dần nhưng vẫn ở mức chấp nhận được, cho thấy bờ dốc có khả năng chịu được các trận mưa nhỏ. Bên cạnh đó, khi lưu lượng mưa vượt ngưỡng $1x10^{-6}$ $m^3/s/m^2$. Tại q = $5x10^{-6}$ $m^3/s/m^2$, hệ số Fs đã giảm xuống 1,103, thấp hơn ngưỡng an toàn 1,25, cho thấy bờ dốc đã chuyển sang trạng thái nguy hiểm.

Bảng 2. *Kết quả hệ số an toàn (Fs) theo các kịch bản lưu lượng mưa*

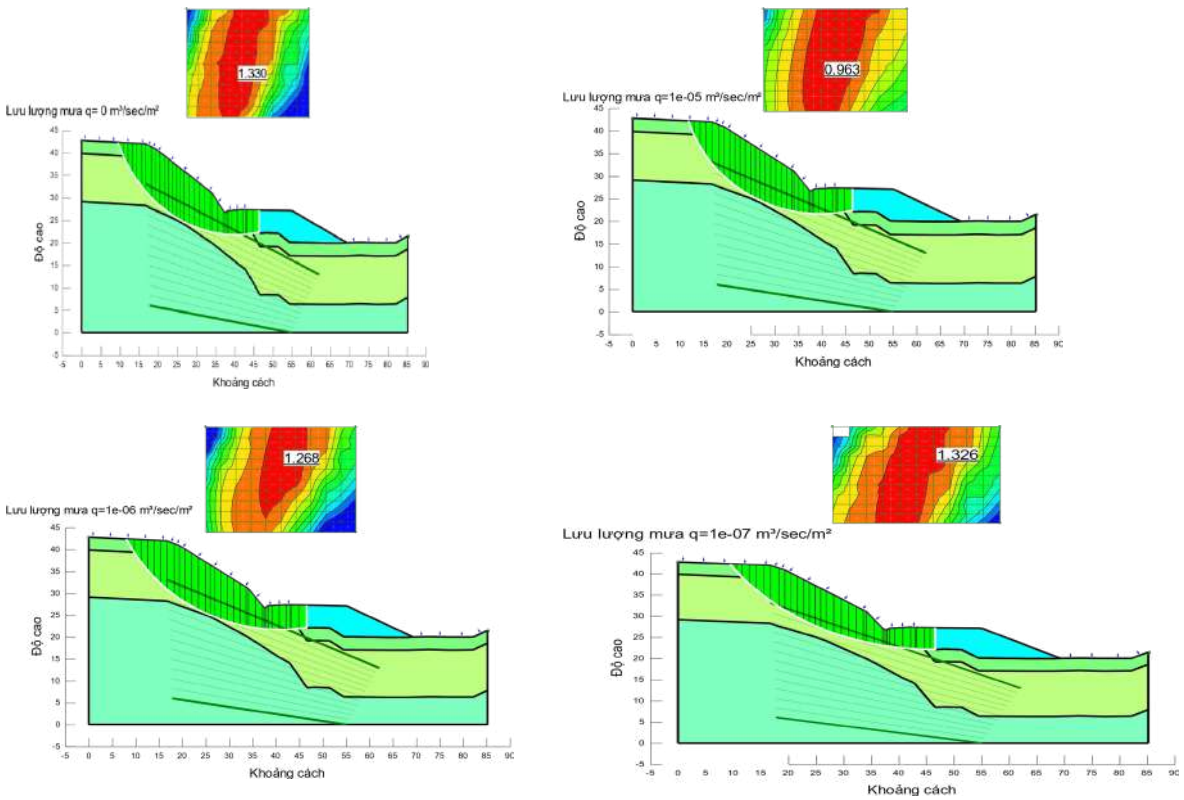
Kịch bản	Lưu lượng mưa q ($m^3/s/m^2$)	Hệ số an toàn (Fs)	Đánh giá
1	0	1.330	Ổn định
2	1 x 10^{-7}	1.326	Ổn định
3	5 x 10^{-7}	1.304	Ổn định
4	1 x 10^{-6}	1.268	Gần giới hạn
5	5 x 10^{-6}	1.103	Mất ổn định
6	1 x 10^{-5}	0.963	Mất ổn định
7	2 x 10^{-5}	0.746	Mất ổn định
8	3 x 10^{-5}	0.622	Mất ổn định

Theo yêu cầu TCVN 13346:2021, hệ số ổn định tiêu chuẩn yêu cầu đối với mất ổn định chung là 1,25 (Bộ Giao thông Vận tải, 2021. TCVN 13346:2021). Điểm tới hạn thực sự trong bài toán nghiên cứu, xảy ra khi lưu lượng mưa đạt $1x10^{-5}$ $m^3/s/m^2$, tại đó Fs giảm xuống 0,963 (nhỏ hơn 1,0). Đây là ngưỡng cường độ mưa cực kỳ nguy hiểm đối với mặt cắt nghiên cứu. Với lưu lượng mưa tăng lên $2x10^{-5}$ và $3x10^{-5}$ $m^3/s/m^2$, hệ số an toàn giảm sâu, chỉ còn lần lượt là 0,746 và 0,622, cho thấy bờ dốc ở trạng thái mất ổn định (Hình 2). Kết quả này hoàn toàn phù hợp với các nghiên cứu trước đây tại Việt Nam và trên thế giới, khẳng định mưa lớn và kéo dài là yếu tố kích hoạt chính gây sạt lở. Nghiên cứu tại Quảng Bình của Bùi Văn Bình (2017) cũng chỉ ra rằng với cường độ mưa trung bình khoảng 13 mm/h (tương đương $3,6x10^{-6}$ m/s) kéo dài từ 3,5 đến 4 ngày, mái dốc sẽ bị mất ổn định, điều này tương đồng với kết quả mô phỏng trong nghiên cứu này (Bùi Văn Bình và nnk., 2017).

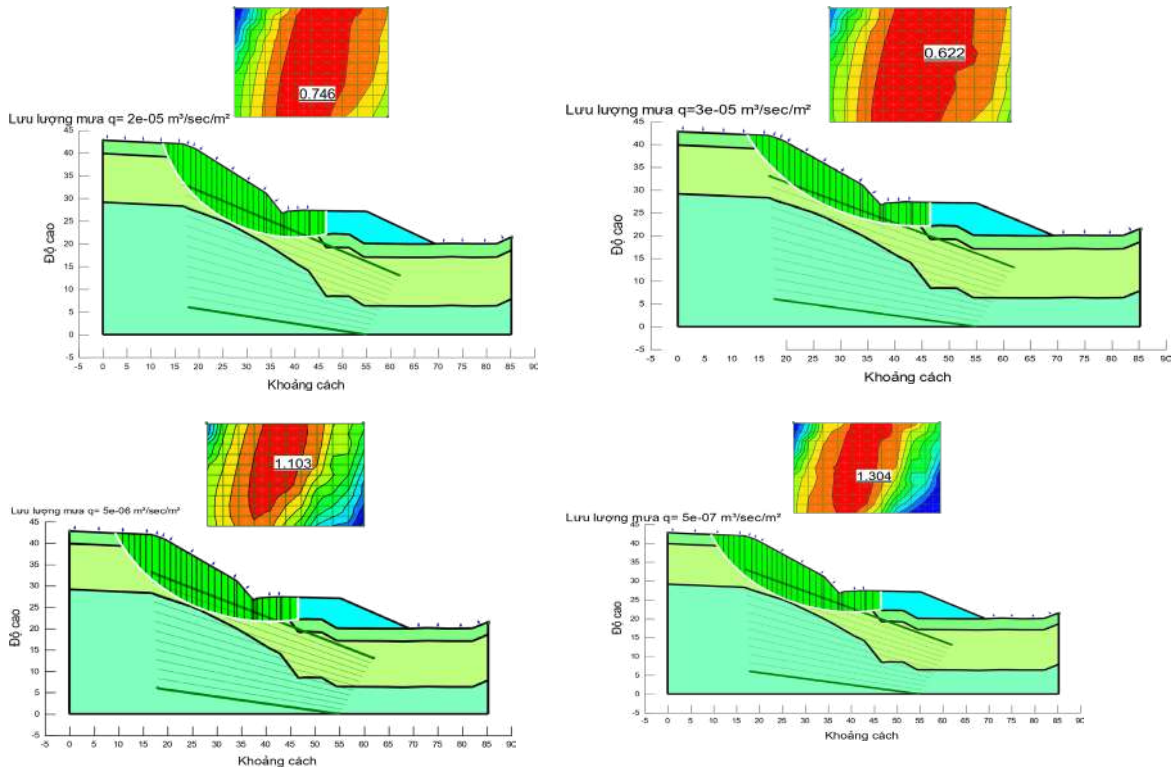


Hình 3. Mối quan hệ giữa lưu lượng mưa và hệ số an toàn Fs

Phân tích các mặt trượt nguy hiểm nhất cho thấy, khi lượng mưa tăng, mặt trượt có xu hướng trở nên nông hơn và nằm trong vùng đất đắp và lớp vỏ phong hóa gần bề mặt (Hình 3). Điều này là do nước mưa thấm vào từ bề mặt, làm bão hòa và giảm sức kháng cắt của các lớp đất phía trên trước tiên. Dạng phá hoại này được gọi là trượt nông, phù hợp với các quan sát thực tế tại các vùng đồi núi Việt Nam sau các trận mưa lớn.



Hình 4a. Tổng hợp các kết quả tính toán trên mô hình số



Hình 4b. Tổng hợp các kết quả tính toán trên mô hình số

3.2 Nhận xét về cơ chế gây mất ổn định

Từ kết quả phân tích ảnh hưởng của lượng mưa tới sự ổn định của nền đường đắp tại điểm nghiên cứu, có thể thấy sự suy giảm hệ số an toàn là hệ quả trực tiếp của quá trình thấm không ổn định do mưa (Hình 3). Khi nước mưa thấm vào đất, nó lấp đầy các lỗ rỗng, làm tăng áp lực nước lỗ rỗng. Quá trình này làm giảm ứng suất hữu hiệu giữa các hạt đất, từ đó làm suy giảm mạnh mẽ sức kháng cắt của đất. Đây là cơ chế chính gây ra sự mất ổn định ổn định nền đường. Mặt khác, ở trạng thái không bão hòa, đất có lực hút dính (áp lực nước lỗ rỗng âm), góp phần làm tăng sức kháng cắt. Mưa làm bão hòa đất, triệt tiêu lực hút dính này, làm giảm thêm độ ổn định của mái dốc.

Các nghiên cứu sử dụng mô hình kết hợp SEEP/W và SLOPE/W đều cho thấy sự hiệu quả trong việc mô phỏng tác động của mưa. Kristo và nnk., (2017) tại Singapore cũng chỉ ra rằng cường độ mưa gia tăng do biến đổi khí hậu làm giảm đáng kể hệ số an toàn của mái dốc đất dư. Nghiên cứu tại Khánh Vĩnh cũng xác định ngưỡng cường độ mưa gây trượt lở là 10 mm/h (tương đương $2{,}8 \times 10^{-6}$ m/s) với thời gian mưa hơn 5 ngày, cho thấy sự tương đồng về ngưỡng mưa nguy hiểm (Nguyễn Thanh Danh và nnk., 2019).

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã tiến hành mô phỏng số nhằm định lượng ảnh hưởng của lượng mưa đến sự ổn định của nền đường đắp cao tại Km31+056 tuyến cao tốc Đồng Đăng - Trà Lĩnh. Bằng cách tích hợp các module SEEP/W và SLOPE/W, có thể khẳng định một số kết quả sau:

- Lượng mưa là yếu tố chính làm suy giảm ổn định bờ dốc. Kết hợp phân tích mô hình SEEP/W và SLOPE/W cho thấy hệ số an toàn (Fs) giảm mạnh khi lưu lượng mưa tăng, từ Fs = 1,330 (ổn định) khi không mưa xuống Fs = 0,963 (mất ổn định) tại ngưỡng mưa 1×10^{-5} m³/s/m². Cơ chế chính là sự gia tăng áp lực nước lỗ rỗng làm suy giảm sức kháng cắt của đất.

- Cơ chế phá hoại điển hình là trượt nông. Khi mưa tăng, mặt trượt nguy hiểm nhất có xu hướng nông hơn, nằm trong vùng đất đắp và lớp vỏ phong hóa gần bề mặt bị bão hòa nước, phù hợp với các quan sát thực tế.

Các kết quả trên cung cấp cơ sở khoa học quan trọng cho công tác dự báo, cảnh báo sớm và đề xuất các giải pháp kỹ thuật như hệ thống thoát nước hiệu quả nhằm giảm thiểu rủi ro sạt lở cho các công trình hạ tầng giao thông trong bối cảnh các hiện tượng thời tiết cực đoan ngày càng gia tăng.

Tài liệu tham khảo

Bùi Anh Định, 2013. Cơ học đất: Giáo trình dùng cho sinh viên ngành xây dựng cầu đường. Nhà xuất bản Xây Dựng, Hà Nội.

Bùi Văn Bình, Bùi Trường Sơn, Nguyễn Thị Nụ, Nguyễn Thành Dương, Phạm Thị Việt Nga, 2023. Ảnh hưởng của cường độ mưa đến sự ổn định của mái dốc - Lấy ví dụ ở Quảng Bình, Việt Nam. Hội thảo khoa học quốc gia: Địa kỹ thuật, Địa môi trường và ứng phó với Biến đổi khí hậu (GEE-2023), tr. 514-523.

Bộ Giao thông Vận tải, 2021. TCVN 13346:2021 - Công trình phòng chống đất sụt trên đường ô tô - Yêu cầu khảo sát và thiết kế.

Nguyễn Thanh Danh, 2019. Nghiên cứu ảnh hưởng của mưa đối với trượt lở và xây dựng bản đồ tai biến trượt lở huyện Khánh Vĩnh, tỉnh Khánh Hòa. Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Bách khoa Tp. Hồ Chí Minh.

Nguyễn Văn Du, Nguyễn Văn Hùng, Phạm Ngọc Bảy, 2025. Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng trạng thái vật lý của đất, thảm thực vật đến ổn định nền đường. Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải, 76(3), tr. 361-372.

Nguyễn Văn Thìn, 2007. Ảnh hưởng của mưa đến ổn định mái dốc. Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, số 16, tr. 95.

Phạm Quang Hưng, 2012. Tính toán ổn định mái dốc có xét đến yếu tố không bão hòa của đất trong điều kiện Việt Nam. Tạp chí khoa học công nghệ xây dựng, số 11/2-2012, tr. 61-69.

Phan Trường Phiệt, 2001. Áp lực đất và tường chắn đất. Nhà xuất bản Xây Dựng, Hà Nội.

Trương Hồng Minh, 2014. So sánh các phương pháp phân tích ổn định nền đường đắp hiện nay ở Việt Nam. Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Duy Tân, 1(10), tr. 1-14.

Duncan, J. M., and Wright, S. G., 2005. Soil strength and slope stability. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.

Fredlund, D. G., and Rahardjo, H., 1993. Soil mechanics for unsaturated soils. John Wiley & Sons.

Geo-Slope International Ltd., 2024. GeoStudio 2024 - Seepage Modeling with SEEP/W: An Engineering Methodology. Geo-Slope International Ltd, Calgary, Alberta, Canada.

Kristo, C., Rahardjo, H., and Satyanaga, A., 2017. Effect of variations in rainfall intensity on slope stability in Singapore. International Soil and Water Conservation Research, 5(4), pp. 258-264.

Rahimi, A., Rahardjo, H., and Leong, E. C., 2011. Effect of antecedent rainfall patterns on rainfall-induced slope failure. ASCE, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 137(5), pp. 483-491.

Investigation of rainfall effect on the stability of high embankment on the Dong Dang - Tra Linh expressway using numerical simulation

Nguyen Ba Dong[1] , Nguyen Duc Hanh[1,*]

[1]*University of Transport and Communications*

**Corresponding author: Email: duchanhdkt@utc.edu.vn*

Abstract

Rainfall-induced landslides are a common and severe geological hazard in Vietnam's mountainous regions, directly impacting the safety and stability of transportation infrastructure. This paper presents the results of a quantitative study on the effect of different rainfall scenarios on the stability of a high embankment using numerical simulation. The study focuses on a typical cross-section at Km 31+056 of the Dong Dang - Tra Linh Expressway project. By employing the

GeoStudio software suite, the study integrates the SEEP/W module for unsteady seepage analysis and the SLOPE/W module for slope stability assessment. The simulation results indicate that the factor of safety (Fs) of the slope decreases significantly as rainfall intensity increases. Specifically, the factor of safety drops from a stable value of Fs = 1.330 under no-rain conditions to Fs = 0.622 when the rainfall flux reaches $3x10^{-5}$ $m^3/sec/m^2$. This result confirms the decisive role of rainfall in reducing soil shear strength by increasing pore-water pressure, thereby causing slope instability. The study provides a crucial scientific basis for early warning systems and the proposal of effective reinforcement and drainage solutions

Keywords: slope stability; rainfall; high embankment; numerical simulation; SLOPEW, SEEPW

CƠ SỞ VÀ CÔNG NGHỆ CHUYỂN ĐỔI SỐ ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH - ĐỊA KỸ THUẬT

Nhữ Việt Hà[1,*]

[1]*Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

**Tác giả liên hệ: Email: nhuvietha@humg.edu.vn*

Tóm tắt

Bài báo này đánh giá tiềm năng chuyển đổi số trong Địa chất công trình - Địa kỹ thuật, tập trung vào thu thập, xử lý, mô hình hóa và phân tích dữ liệu. Nghiên cứu bao quát cơ sở và công nghệ chuyển đổi số với phương pháp nghiên cứu kết hợp các tiêu chuẩn quốc tế (IAEG, ISRM, ISSMGE, POSC) với công nghệ hiện đại: thu thập dữ liệu hố khoan tự động qua thiết bị di động và GPS, giải đoán thí nghiệm xuyên tĩnh bằng thuật toán số, xây dựng mô hình địa hình 3D bằng LIDAR, mô phỏng địa kỹ thuật FEM/DEM và phân tích không gian GIS. Kết quả cho thấy chuyển đổi số giúp đồng bộ hóa và chuẩn hóa dữ liệu từ nhiều nguồn, giảm phụ thuộc vào xử lý thủ công, tạo mô hình 2D/3D chi tiết, hỗ trợ mô phỏng các hiện tượng địa kỹ thuật và dự báo thiên tai trượt lở với độ chính xác cao. Nghiên cứu khẳng định chuyển đổi số không chỉ là công cụ thu thập dữ liệu mà còn là nền tảng để mô hình hóa, phân tích và ra quyết định kỹ thuật, nâng cao độ tin cậy và hiệu quả thực tiễn trong địa chất công trình - địa kỹ thuật.

Từ khóa: Chuyển đổi số, Địa chất công trình; Địa kỹ thuật; Mô hình số, GIS.

1. Đặt vấn đề

Trong lĩnh vực Địa chất công trình - Địa kỹ thuật, sự tích hợp của Công nghệ Thông tin (CNTT) và các công nghệ chuyển đổi số đã tạo ra những thay đổi sâu sắc, định hình cách các chuyên gia thu thập, xử lý, quản lý và phân tích thông tin địa chất. CNTT trong lĩnh vực này không chỉ là việc áp dụng máy tính, viễn thông hay hệ thống văn phòng, mà còn là việc tích hợp các thiết bị điện tử và công nghệ di động để thu thập, lưu trữ, xử lý, truyền tải và trực quan hóa dữ liệu một cách đồng bộ và có hệ thống.

Theo Loudon (2000), mối quan hệ giữa dữ liệu, thông tin và kiến thức là cơ sở để hiểu sự tác động của CNTT trong địa kỹ thuật. CNTT mang lại hai lợi ích chính: (i) khả năng tính toán mạnh mẽ, cho phép phân tích định lượng, thống kê và mô phỏng các hiện tượng địa kỹ thuật phức tạp; và (ii) quản lý dữ liệu hiệu quả, cho phép lưu trữ, truy xuất và tích hợp các bộ dữ liệu lớn từ nhiều nguồn khác nhau, bao gồm dữ liệu khảo sát hiện trường, lỗ khoan, GIS, cơ sở dữ liệu lớn và mô hình số 2D/3D (Burrough, McDonnell et al. 2015).

Sự phát triển của công nghệ số và khả năng tính toán từ thập niên 1960-1970 đã thúc đẩy quá trình số hóa các phương pháp truyền thống, đồng thời mở ra khả năng phát triển các phương pháp phân tích địa kỹ thuật mới. Trong những năm gần đây, các công nghệ như mô hình số địa hình 2D/3D, mô hình số địa kỹ thuật (FEM, DEM, FLAC, UDEC, PFC2D/3D), hệ thống GIS 2D/3D, và cơ sở dữ liệu lớn đã cho phép mô hình hóa môi trường địa chất công trình với độ chi tiết cao, khả năng dự báo rủi ro chính xác và trực quan hóa mạnh mẽ (Burrough, McDonnell et al. 2015, Nhu, Hoang et al. 2020).

Ứng dụng CNTT trong địa kỹ thuật không chỉ là xử lý dữ liệu, mà còn là chuyển đổi phương pháp tư duy kỹ thuật. "Cách mạng số" đã tạo ra môi trường mà trong đó các mô hình, phân tích và quyết định kỹ thuật có thể được thực hiện một cách nhanh chóng, chính xác và dựa trên dữ liệu thực tế. Tuy nhiên, để tận dụng tối đa tiềm năng CNTT, cần chuẩn hóa dữ liệu, đồng bộ hóa dữ liệu đa nguồn, và tích hợp các công nghệ tiên tiến nhằm tăng độ tin cậy và giá trị ứng dụng của mô hình.

Phân tích trên cho thấy CNTT và chuyển đổi số không chỉ là công cụ thu thập dữ liệu, mà còn là nền tảng để mô hình hóa, phân tích, tích hợp dữ liệu và ra quyết định kỹ thuật. Việc đồng bộ

hóa dữ liệu, tiêu chuẩn hóa định dạng và áp dụng các công nghệ tiên tiến là yếu tố then chốt để nâng cao chất lượng mô hình, độ tin cậy và hiệu quả thực tiễn trong các dự án địa kỹ thuật.

2. Cơ sở và công nghệ chuyển đổi số

Ứng dụng CNTT trong Địa chất công trình - Địa kỹ thuật đã tạo ra một bước ngoặt trong cách thu thập, quản lý, phân tích và mô hình hóa dữ liệu. Sự chuyển đổi số không chỉ là việc chuyển đổi dữ liệu từ dạng analog sang số, mà còn mở ra khả năng xử lý lượng lớn dữ liệu một cách nhanh chóng, đồng bộ hóa thông tin, cải thiện chất lượng phân tích và hỗ trợ ra quyết định kỹ thuật.

Khả năng xử lý dữ liệu khổng lồ và phân tích nhanh chóng là lợi thế chính của CNTT. Các dữ liệu từ khảo sát địa vật lý, viễn thám, thí nghiệm và quan sát hiện trường có thể được tổng hợp, phân tích thống kê, khử nhiễu và tích hợp vào các mô hình không gian trong vài giây - điều không thể thực hiện được trong thời kỳ tiền kỹ thuật số. CNTT cũng thay đổi cách các chuyên gia tư duy và nghiên cứu, từ việc dựa vào quan sát và kinh nghiệm sang việc mô hình hóa dữ liệu số, cho phép trực quan hóa 2D, 3D, thậm chí 4D (bao gồm yếu tố thời gian). Những tiến bộ này thúc đẩy phát triển các phương pháp số hóa tiên tiến, tăng cường các kỹ thuật khảo sát truyền thống, và mở ra khả năng phát triển các mô hình địa kỹ thuật phức tạp hơn.

2.1 Tiêu chuẩn hóa và đồng nhất dữ liệu

Một trong những thách thức lớn trong quá trình chuyển đổi số trong lĩnh vực Địa chất công trình - Địa kỹ thuật là việc đảm bảo tính đồng nhất và khả năng tương tác của dữ liệu. Dữ liệu địa chất thường đến từ nhiều nguồn khác nhau, có định dạng đa dạng và chứa thông tin phức tạp. Việc thiếu sự đồng nhất trong định dạng và cấu trúc dữ liệu không chỉ gây khó khăn trong việc chia sẻ và tích hợp dữ liệu mà còn ảnh hưởng đến chất lượng và hiệu quả của các phân tích và mô hình hóa địa chất công trình - địa kỹ thuật.

Công nghệ thông tin đóng vai trò quan trọng trong việc tiêu chuẩn hóa và đồng nhất dữ liệu địa kỹ thuật. Các tiêu chuẩn quốc tế như của Liên đoàn các Hiệp hội Địa kỹ thuật Quốc tế (FedIGS), bao gồm các tổ chức thành viên như ISSMGE, ISRM và IAEG, đã và đang phát triển các hướng dẫn và tiêu chuẩn để thống nhất định dạng dữ liệu, quy trình mô tả và phân loại thông tin địa kỹ thuật. Việc áp dụng các tiêu chuẩn này giúp tăng cường khả năng tương tác và tích hợp dữ liệu giữa các hệ thống và phần mềm khác nhau, đồng thời nâng cao khả năng chia sẻ và tái sử dụng dữ liệu trong cộng đồng khoa học và kỹ thuật. Tuy nhiên, việc xử lý và quản lý dữ liệu địa kỹ thuật trong môi trường số đòi hỏi phải áp dụng các quy tắc nghiêm ngặt về tính đồng nhất của các định dạng dữ liệu và lựa chọn các tham số thích hợp để mô tả. Điều này đặc biệt quan trọng khi sử dụng cơ sở dữ liệu lớn và các công cụ phân tích số, vì sự không đồng nhất trong dữ liệu có thể dẫn đến sai sót trong phân tích và quyết định kỹ thuật.

Một xu hướng đáng chú ý là việc các chuyên gia, ngay cả trong cùng một tổ chức, thường làm việc độc lập với các công nghệ, chọn công cụ và cấu trúc dữ liệu riêng biệt để lưu trữ và xử lý thông tin. Nếu không có nỗ lực tiêu chuẩn hóa, điều này có thể dẫn đến việc người dùng phải dành nhiều thời gian hơn cho việc chuyển đổi và đồng bộ hóa dữ liệu thay vì tập trung vào giải quyết các vấn đề địa kỹ thuật. Việc chia sẻ dữ liệu giữa các tổ chức sẽ làm tăng thêm độ phức tạp trong việc tích hợp và sử dụng dữ liệu. Để giải quyết vấn đề này, các hiệp hội quốc tế như ISSMGE, ISRM và IAEG đã và đang tích cực tham gia vào việc phát triển và thúc đẩy việc áp dụng các tiêu chuẩn dữ liệu chung trong cộng đồng địa kỹ thuật. Việc thực hiện các tiêu chuẩn này không chỉ giúp liên kết tốt hơn với các phần mềm chuyên dụng mà còn tạo điều kiện thuận lợi cho việc chia sẻ và tái sử dụng dữ liệu trong các dự án và nghiên cứu khác nhau. Một ví dụ điển hình là sáng kiến của Tập đoàn Phần mềm Mở Kỹ thuật Dầu khí (POSC), nơi các công ty dầu mỏ đã hợp tác để phát triển các tiêu chuẩn và môi trường hệ thống mở. Điều này giúp giải phóng các công ty khỏi lo lắng về việc tích hợp hệ thống máy tính của họ và cho phép họ tập trung vào các lĩnh vực có giá trị gia tăng (Chalon, Karcher et al. 1993). Trong bối cảnh chuyển đổi số hiện nay, CNTT không chỉ là công cụ hỗ trợ mà còn là nền tảng cơ sở cho việc thu thập, xử lý và phân tích dữ liệu địa kỹ

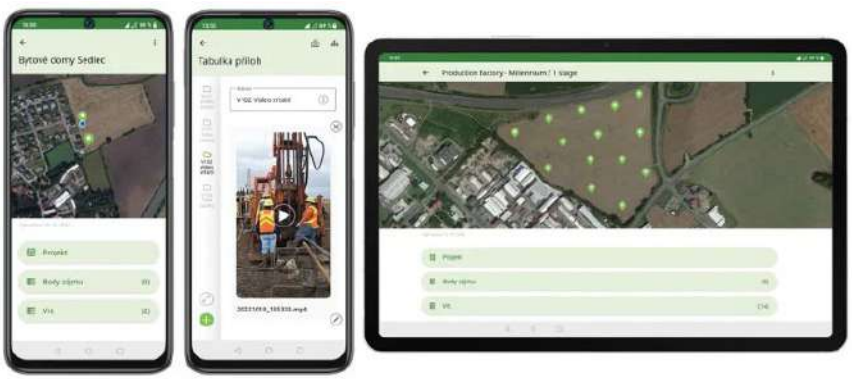
thuật. Việc tiêu chuẩn hóa và đồng nhất dữ liệu không chỉ giúp cải thiện hiệu quả công việc mà còn tạo ra cơ hội mới cho việc phát triển các mô hình và phương pháp phân tích tiên tiến, ứng dụng trong thiết kế và thi công công trình địa kỹ thuật.

2.2 Công nghệ chuyển đổi số thu thập dữ liệu hố khoan hiện trường

Trong quá trình khảo sát hiện trường, việc thu thập dữ liệu hố khoan đóng vai trò quan trọng trong việc đánh giá điều kiện địa chất và hỗ trợ thiết kế công trình. Truyền thống, dữ liệu này thường được ghi chép thủ công vào sổ sách, dẫn đến khả năng sai sót và khó khăn trong việc chia sẻ và phân tích. Tuy nhiên, sự phát triển của CNTT đã mang lại những cải tiến đáng kể trong việc thu thập và xử lý dữ liệu hố khoan. Việc tiêu chuẩn hóa dữ liệu hố khoan là bước đầu tiên trong quá trình chuyển đổi số. Các tiêu chuẩn như NEN 5104 và CUR GEF-BORE 2002 đã được phát triển để mô tả chi tiết các thông số địa kỹ thuật của hố khoan, bao gồm độ sâu, phân loại đất, phương pháp lấy mẫu, dữ liệu ô nhiễm và điều kiện thực hiện. Việc áp dụng các tiêu chuẩn này giúp đảm bảo tính nhất quán và khả năng tương tác của dữ liệu giữa các hệ thống và tổ chức khác nhau.

Việc sử dụng thiết bị di động và máy tính xách tay kết hợp với hệ thống định vị toàn cầu (GPS) cho phép thu thập tọa độ tự động và đồng bộ hóa dữ liệu với hệ thống trung tâm. Phương pháp này không chỉ cải thiện độ chính xác và toàn vẹn của dữ liệu mà còn giảm thiểu thất thoát thông tin và loại bỏ nhu cầu nhập liệu thủ công. Các phần mềm như QuickLog PDA và PLog đã được phát triển để hỗ trợ quá trình này, cung cấp giao diện dễ sử dụng và khả năng tích hợp với các hệ thống cơ sở dữ liệu và phần mềm phân tích khác. Việc sử dụng cơ sở dữ liệu quan hệ (RDBMS) cho phép lưu trữ dữ liệu hố khoan theo cấu trúc cha/con, giúp dễ dàng tích hợp dữ liệu mới và hỗ trợ phân tích, mô phỏng và lập kế hoạch kỹ thuật. Các hệ thống như gINT và Aldoa cung cấp khả năng tạo và quản lý các bản ghi hố khoan, bao gồm thông tin về mẫu đất, điều kiện nước ngầm, phương pháp thí nghiệm và các thông số kỹ thuật khác. Việc áp dụng mô hình hóa dữ liệu giúp cải thiện khả năng phân tích và dự báo, hỗ trợ ra quyết định trong thiết kế và thi công công trình.

Việc tích hợp dữ liệu hố khoan vào hệ thống GIS cho phép trực quan hóa và phân tích dữ liệu không gian, hỗ trợ đánh giá tổng thể về điều kiện địa chất và môi trường. Các phần mềm như ArcGIS và QGIS cung cấp công cụ để tích hợp và phân tích dữ liệu hố khoan, hỗ trợ việc lập bản đồ địa kỹ thuật và đánh giá rủi ro. Việc tích hợp này không chỉ cải thiện hiệu quả công việc mà còn tạo ra cơ hội mới cho việc phát triển các mô hình và phương pháp phân tích tiên tiến. Mặc dù công nghệ chuyển đổi số đã mang lại nhiều lợi ích, nhưng vẫn còn một số thách thức cần được giải quyết. Việc thiếu đồng nhất trong định dạng và cấu trúc dữ liệu giữa các tổ chức và hệ thống khác nhau có thể gây khó khăn trong việc chia sẻ và tích hợp dữ liệu. Hơn nữa, việc đào tạo nhân lực và đầu tư vào cơ sở hạ tầng công nghệ là cần thiết để đảm bảo việc áp dụng hiệu quả các công nghệ mới. Tuy nhiên, với sự phát triển không ngừng của CNTT và sự hợp tác giữa các tổ chức, triển vọng của công nghệ chuyển đổi số trong lĩnh vực Địa chất công trình - Địa kỹ thuật là rất hứa hẹn.



Hình 14. Ứng dụng di động thu thập dữ liệu hố khoan hiện trường

2.3 Công nghệ chuyển đổi số phân tích dữ liệu xuyên tĩnh hiện trường

Thí nghiệm xuyên tĩnh hiện trường (CPT) là phương pháp quan trọng để đánh giá đặc tính cơ lý của các lớp đất mềm theo chiều sâu. Dữ liệu thu được từ CPT bao gồm lực cản đầu mũi, lực ma sát bên, và đôi khi các thông số điện trở hoặc dẫn nhiệt, cung cấp thông tin chi tiết về tính chất cơ lý đất theo từng lớp (Robertson 2016, Wang, Zhang et al. 2025). Trước đây, việc giải thích dữ liệu CPT phụ thuộc phần lớn vào kinh nghiệm của kỹ sư và phân tích thủ công, dễ dẫn đến sai số và không đồng nhất giữa các chuyên gia. Sự phát triển của công nghệ thông tin và thuật toán số đã cho phép tự động hóa quá trình giải thích dữ liệu, tích hợp trực tiếp với dữ liệu lỗ khoan và các đơn vị địa kỹ thuật đã xác định trước, từ đó nâng cao độ chính xác trong việc xác định ranh giới giữa các lớp đất (Coerts 1996).

Các nghiên cứu ban đầu tại Hà Lan đã thử nghiệm giải thích tự động dữ liệu CPT nhưng chỉ dựa trên lực cản từ hình nón, và cho thấy kết quả không hoàn toàn chính xác. Nhiều lớp đất không biểu hiện rõ ràng trong thực địa, đòi hỏi kỹ sư phải xác định sự chuyển tiếp dần giữa các lớp đất khác nhau. Coerts (1996) đã mở rộng phương pháp bằng cách kết hợp thông tin từ các lỗ khoan và đơn vị địa kỹ thuật đã xác định trước, cho phép xác định ranh giới lớp đất ở các vị trí giữa lỗ khoan một cách đáng tin cậy hơn. Hiện nay, với các công cụ phân tích số và học máy, dữ liệu CPT có thể được xử lý tự động theo nhiều bước: (1) Tiền xử lý và chuẩn hóa dữ liệu từ nhiều nguồn khác nhau; (2) Nhận dạng lớp đất bằng các thuật toán phân cụm và hồi quy; và (3) Kết hợp với mô hình 2D/3D để tái tạo liên tục ranh giới giữa các lớp đất theo không gian, phục vụ phân tích ổn định và mô phỏng kỹ thuật công trình.

2.4 Công nghệ chuyển đổi số xây dựng mô hình số địa hình 3D

Việc xây dựng mô hình số 3D của bề mặt địa hình và công trình đóng vai trò quan trọng trong phân tích ổn định, đánh giá rủi ro và lập kế hoạch thi công. Các công nghệ số hiện đại như LIDAR và chụp ảnh lập thể (photogrammetry) cho phép tái hiện bề mặt tự nhiên và các công trình với độ chi tiết cao, đo lường chính xác hình dạng, vị trí và hướng các yếu tố địa chất như khe nứt, mỏm đá, lớp đất lộ thiên, hoặc các công trình nhân tạo (Slob, Hack et al. 2002). Độ phân giải dữ liệu có thể đạt từ centimet đến milimet, cung cấp nền tảng chính xác cho phân tích gián đoạn địa chất và mô hình hóa số.

Với sự phát triển của công nghệ LIDAR và khả năng tính toán mạnh mẽ của máy tính, các dữ liệu địa hình 3D có thể được thu thập tự động, đồng bộ và phân tích chi tiết. LIDAR đo khoảng cách đến bề mặt bằng thời gian bay (Time-of-Flight) của tia laser phản xạ, kết hợp với thông tin hướng và vị trí của máy quét, cho phép xác định chính xác tọa độ 3D của từng điểm trên bề mặt. Khi quét các mỏm đá hoặc khe đào, dữ liệu thu được tạo ra đám mây điểm 3D với độ phân giải cao, từ đó trích xuất hình dạng, diện tích và hướng các bề mặt gián đoạn (Slob, Hack et al. 2002).

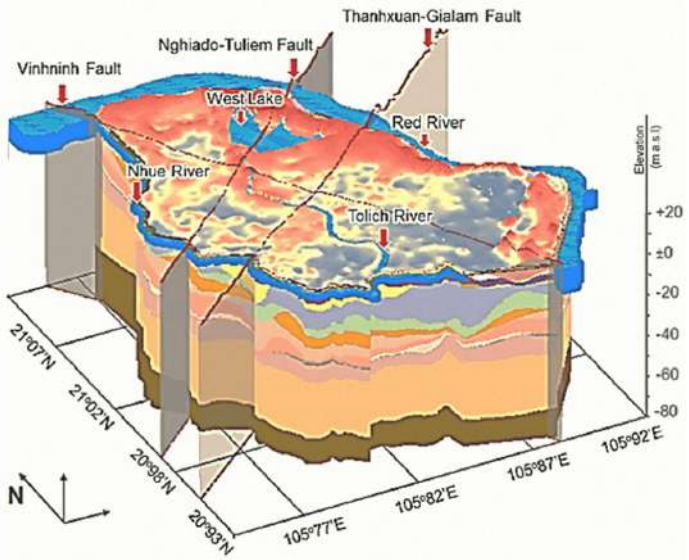
Trong quy trình xử lý dữ liệu, bề mặt 3D được biểu diễn bằng mạng lưới tam giác (triangular mesh). Hướng và diện tích của từng tam giác được tính toán dựa trên quy tắc hình học, sau đó biểu diễn trong đám mây điểm để xác định mật độ và phân bố hướng các tập hợp gián đoạn. Các biểu đồ mật độ cho phép nhận dạng các tập hợp khe nứt, mặt phẳng gián đoạn và vết nứt một cách trực quan và thống kê, cung cấp cơ sở cho mô hình số địa kỹ thuật và phân tích ổn định công trình.

2.5 Mô hình số điều kiện Địa chất công trình

Trong lĩnh vực Địa chất công trình - Địa kỹ thuật, mô hình số kỹ thuật đóng vai trò trung tâm trong việc tích hợp dữ liệu khảo sát, thông số địa kỹ thuật, và đặc điểm môi trường đất - đá, từ đó hỗ trợ trực quan hóa, mô phỏng và ra quyết định kỹ thuật. Sự phát triển của mô hình 4D mở rộng khả năng này bằng cách đưa vào yếu tố thời gian, cho phép đánh giá tiến trình đào đất, lún nền, biến dạng hoặc các quá trình thay đổi địa chất theo thời gian. Những ứng dụng tiên phong trong ngành khai thác mỏ nhiều thập kỷ trước đã trở thành chuẩn mực cho các dự án xây dựng dân dụng quy mô lớn. Tất cả thông tin liên quan đến mô hình không gian và đặc tính địa chất công trình - địa kỹ thuật của các lớp đất dưới và xung quanh công trình như đường hầm, hố đào móng sâu, và

nền móng cầu đường, đều có thể được tích hợp vào mô hình số 2D/3D (Benz and Nordal 2010).

Khả năng xuất dữ liệu thành cấu hình lớp và thông số địa kỹ thuật phục vụ trực tiếp cho mô hình địa cơ, tính toán ổn định nền, phân tích lún, và lập kế hoạch thi công. Điều này làm tăng hiệu quả, giảm sai sót và cung cấp cơ sở dữ liệu nhất quán để phối hợp giữa các nhóm kỹ sư, nhà thầu và cơ quan quản lý. Tuy nhiên, việc áp dụng mô hình số cũng đặt ra câu hỏi về độ khả dụng và độ tin cậy của mô hình. Không giống như mô hình "vẽ tay" truyền thống, mô hình kỹ thuật số có thể kiểm định, đánh giá sai số và xác định phạm vi tin cậy dựa trên nguồn gốc dữ liệu, tiêu chuẩn thu thập, và phương pháp liên kết dữ liệu. Các yếu tố then chốt ảnh hưởng đến độ tin cậy của mô hình bao gồm: (1) Chất lượng dữ liệu đầu vào: dữ liệu khảo sát, lỗ khoan, CPT, và thông số cơ lý; (2) Tiêu chuẩn hóa và đồng nhất dữ liệu: đảm bảo khả năng tích hợp, so sánh và phân tích; (3) Phương pháp mô hình hóa: thuật toán 2D/3D, tích hợp GIS và phân tích thống kê; và (4) Trình độ và kinh nghiệm của chuyên gia địa kỹ thuật: trong việc kiểm định và hiệu chỉnh mô hình. Những thách thức này đòi hỏi sự chú ý liên tục và hợp tác giữa các chuyên gia Địa chất công trình - Địa kỹ thuật, kỹ sư phần mềm, và nhà quản lý dự án để đảm bảo rằng mô hình số không chỉ trực quan mà còn đáng tin cậy và có thể ứng dụng trong thực tiễn (Nhu 2021).



Hình 15. Mô hình địa kỹ thuật 3D độ phân giải cao của thành phố Hà Nội (Nhu 2021)

2.6 Mô hình số địa kỹ thuật

Sự phát triển vượt bậc của sức mạnh tính toán hiện đại đã mở rộng khả năng xây dựng các mô hình số địa kỹ thuật phức tạp, bao gồm các phương pháp phần tử hữu hạn (FEM), phần tử riêng biệt (DEM), FLAC, UDEC, PFC2D/3D. Các công cụ này cho phép mô phỏng các hiện tượng địa kỹ thuật không đều, liên tục và không liên tục, từ biến dạng nền đất đến sự dịch chuyển, rạn nứt và sụt lún trong môi trường đất - đá (Potyondy and Cundall 2004, Itasca 2011).

Trong thập kỷ qua, sự gia tăng tốc độ xử lý và khả năng quản lý khối lượng dữ liệu lớn đã giúp chuyển đổi các phương pháp phân tích địa kỹ thuật từ lý thuyết sang ứng dụng thực tế. Các phương pháp FEM, DEM, phần tử dòng hạt (PFC) hiện cho phép mô hình hóa 3D và 4D, trong đó thời gian được tích hợp như một yếu tố quan trọng để mô phỏng tiến trình đào đất, tải trọng lũy tiến và biến dạng phụ thuộc thời gian (Rengers, Hack et al. 2002, Benz and Nordal 2010).

Các gói phần mềm nổi bật như FLAC và UDEC được phát triển bởi ITASCA, ban đầu từ các ứng dụng trong ngành hàng không, nay trở thành chuẩn mực trong phân tích địa kỹ thuật. FLAC cho phép mô phỏng liên tục phi tuyến của đất và đá, trong khi UDEC hỗ trợ phân tích không liên tục các khối địa chất. Các chương trình PFC2D và PFC3D mô hình hóa các khối đá dưới dạng các cụm hạt rời rạc, đặc biệt phù hợp với các tình huống khối đá tách rời, rơi và lăn trong khai thác mỏ hoặc sụt trượt dốc (Rengers, Hack et al. 2002, Potyondy and Cundall 2004, Benz and Nordal 2010).

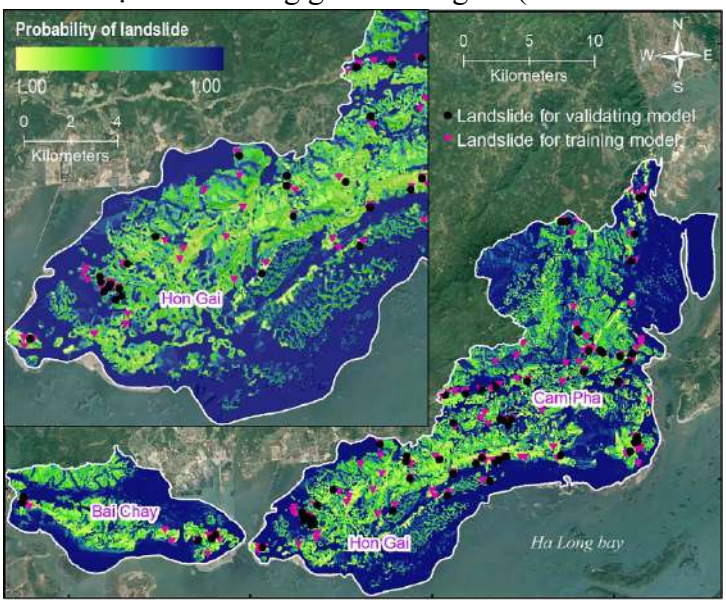
Tuy nhiên, nút thắt hiện nay không còn nằm ở khả năng tính toán, mà ở chất lượng dữ liệu đầu vào. Việc mô hình hóa chi tiết môi trường địa chất phụ thuộc vào độ phân giải và độ tin cậy của dữ liệu khảo sát thực địa, lỗ khoan, CPT, thí nghiệm xuyên tĩnh và quan sát bề mặt (Phoon and Tang 2019). Việc xác định chính xác biến đổi không gian của các đặc tính cơ lý đất - đá vẫn là một thách thức lớn, dẫn đến một nghịch lý trong ứng dụng CNTT hiện đại: "càng biết nhiều, chúng ta càng nhận ra những gì chưa hiểu rõ".

Hậu quả của nghịch lý này là các kỹ sư địa kỹ thuật thường áp dụng thiết kế thận trọng hơn, đặc biệt trong các dự án lớn hoặc phức tạp, nhằm giảm thiểu rủi ro liên quan đến những bất định trong dữ liệu đầu vào. Mô hình số trở thành công cụ hỗ trợ ra quyết định, không chỉ để mô phỏng hiện tượng địa kỹ thuật, mà còn để đánh giá độ tin cậy, các rủi ro tiềm ẩn và các phương án thiết kế thay thế (Phoon and Tang 2019).

2.7 Mô hình địa không gian và hệ thông tin địa lý GIS

Hệ thống thông tin địa lý (GIS) 2D/3D đã trở thành công cụ cơ bản và thiết yếu trong việc quản lý, phân tích và trực quan hóa dữ liệu địa lý cho Địa chất công trình - Địa kỹ thuật. GIS không chỉ cho phép lưu trữ và truy xuất dữ liệu, mà còn hỗ trợ tích hợp các bộ dữ liệu đa nguồn, thực hiện xếp chồng lớp, phân tích không gian phức tạp và xây dựng các mô hình địa không gian phục vụ ra quyết định (Burrough, McDonnell et al. 2015, Longley, Goodchild et al. 2015).

Các kỹ thuật GIS hiện đại cho phép tích hợp dữ liệu từ lỗ khoan, CPT, khảo sát bề mặt, LiDAR, ảnh lập thể, và các hệ thống quan trắc trực tuyến vào một cơ sở dữ liệu chung, từ đó tạo ra thông tin mới và mô hình hóa các kịch bản không gian - thời gian (Goodchild 1992).



Hình 16. Bản đồ dự báo nguy cơ trượt lở đất đá sr dụng mô hình GIS kết hợp học máy khu vực Hạ Long (Nhu, Hoang et al. 2020)

Việc tích hợp GIS với mô hình học máy cho phép xây dựng bản đồ phân bố nguy cơ sạt lở khu vực, giúp xác định các khu vực nhạy cảm và đưa ra biện pháp phòng chống thiên tai hiệu quả. Dữ liệu GIS cung cấp khung không gian để lưu trữ, chuẩn hóa và tương tác với các yếu tố ảnh hưởng, trong khi học sâu khai thác khả năng nhận dạng các mối quan hệ phi tuyến và phức tạp giữa các yếu tố này, từ đó nâng cao độ tin cậy của dự báo. Một nghiên cứu tại khu vực Hạ Long, Việt Nam, sử dụng mạng nơ-ron sâu (DNN) trong Keras kết hợp với các thuật toán tối ưu hóa (SGD, RMSprop, Adam) và hai hàm mất mát để mô hình hóa nguy cơ trượt lở trên cơ sở 10 yếu tố ảnh hưởng (độ dốc, hướng sườn, độ cong địa hình, chỉ số ẩm ướt địa hình, sử dụng đất, khoảng cách tới đường và sông, loại đất, khoảng cách tới đứt gãy, và đặc điểm đá) cho thấy độ chính xác dự báo vượt trội (Nhu, Hoang et al. 2020). Ngoài ra, GIS còn hỗ trợ phân tích độ nhạy (sensitivity analysis) và định lượng độ không chắc chắn, kết hợp các phương pháp thống kê như bootstrap để đánh giá các tham số địa

kỹ thuật khó xác định (Efron 1994). Nhờ đó, các mô hình GIS không chỉ là công cụ lưu trữ và hiển thị mà còn trở thành nền tảng cho quy trình ra quyết định kỹ thuật dựa trên dữ liệu trong các dự án địa chất công trình, đặc biệt ở những vùng dễ xảy ra trượt lở và thiên tai.

2.8 Cơ sở dữ liệu lớn Địa chất công trình - Địa kỹ thuật

Trong bối cảnh chuyển đổi số, các tổ chức khảo sát địa chất quốc gia đã phát triển các hệ thống cơ sở dữ liệu lớn (Big Data) để lưu trữ, quản lý và phân tích toàn bộ thông tin về Địa chất công trình - Địa kỹ thuật trên phạm vi quốc gia. Một ví dụ điển hình là hệ thống DINO do TNO-NITG (Viện Khoa học Địa chất ứng dụng Hà Lan - Cơ quan Khảo sát Địa chất Hà Lan) triển khai. Hệ thống này tích hợp dữ liệu từ nhiều nguồn khác nhau, bao gồm dữ liệu hiện trường, dữ liệu lỗ khoan, CPT, mô hình số địa hình 3D, thông tin giám sát trực tuyến và dữ liệu nghiên cứu khoa học. Hệ thống DINO áp dụng các quy trình kiểm soát chất lượng dữ liệu nghiêm ngặt, đảm bảo tính chính xác, đầy đủ và đồng nhất của dữ liệu trước khi được lưu trữ và phân phối. Nhờ vậy, dữ liệu có thể được truy xuất và phân tích một cách thống nhất, đồng thời hỗ trợ chia sẻ thông tin với các tổ chức nghiên cứu, nhà quản lý và các phần mềm kỹ thuật chuyên dụng (Culshaw 2003, Benz and Nordal 2010).

Một thách thức lớn của các cơ quan khảo sát quốc gia là tích hợp và tổ chức khả năng truy cập toàn bộ dữ liệu Địa chất công trình - Địa kỹ thuật trên lãnh thổ. Vai trò của các tổ chức này đã chuyển từ việc xuất bản bản đồ địa chất truyền thống sang cung cấp truy cập số hóa đến dữ liệu địa chất công trình, cho phép người dùng bên ngoài khai thác dữ liệu theo các chuẩn định dạng và giao diện kỹ thuật số. Việc này đồng nghĩa với việc tất cả dữ liệu mới được thu thập đều nhập trực tiếp dưới dạng số hóa, đồng thời các quy trình truy cập và chia sẻ dữ liệu được chuẩn hóa để tối ưu hóa khả năng tích hợp và phân tích (Benz and Nordal 2010, Wang, Zhang et al. 2025). Hệ thống DINO được thiết kế theo các nguyên tắc cơ bản: (1) Tích hợp dữ liệu đa nguồn: Dữ liệu do TNO-NITG thu thập trực tiếp hoặc nhận từ các bên thứ ba đều được nhập vào cơ sở dữ liệu, đảm bảo chuẩn hóa định dạng và tiêu chuẩn hóa mô tả dữ liệu; (2) Kiểm soát chất lượng dữ liệu: Quy trình kiểm soát chất lượng nghiêm ngặt áp dụng cho tất cả dữ liệu mới nhập, cho phép lựa chọn dữ liệu phù hợp cho phân tích, mô hình hóa và giải thích kỹ thuật; và (3) Tích hợp kết quả phân tích: Kết quả từ các phân tích, mô hình số địa kỹ thuật hoặc GIS có thể được nhập lại vào DINO, tạo thành chu trình dữ liệu khép kín, giúp tăng tính liên kết giữa quan sát thực địa, phân tích kỹ thuật và mô hình dự báo.

Ngoài các chức năng truyền thống, cơ sở dữ liệu lớn địa chất công trình hiện nay còn là nền tảng cho các ứng dụng dự báo thiên tai và mô hình rủi ro trượt lở. Dữ liệu tích hợp từ nhiều lớp địa chất, đặc tính cơ lý, sử dụng đất, độ dốc và các thông số môi trường được khai thác bằng các thuật toán học máy hoặc mạng nơ-ron sâu để tạo bản đồ nhạy cảm trượt lở theo khu vực, cung cấp thông tin cho quản lý rủi ro và lập kế hoạch phòng chống thiên tai (Nhu, Hoang et al. 2020). Việc triển khai cơ sở dữ liệu lớn trong lĩnh vực Địa chất công trình - Địa kỹ thuật không chỉ cải thiện khả năng truy xuất và chia sẻ dữ liệu, mà còn tạo nền tảng cho chuyển đổi số toàn diện, từ thu thập dữ liệu hiện trường, xử lý và mô hình hóa, đến dự báo, trực quan hóa và ra quyết định kỹ thuật dựa trên dữ liệu.

3. Kết luận

Kết quả từ việc áp dụng các tiêu chuẩn quốc tế (IAEG, ISRM, ISSMGE) và các sáng kiến như POSC cho thấy việc đồng nhất dữ liệu tạo điều kiện thuận lợi cho việc tích hợp các bộ dữ liệu đa nguồn. Các định dạng dữ liệu chuẩn hóa giúp tăng khả năng tương tác giữa phần mềm, giảm thiểu lỗi dữ liệu và tối ưu hóa thời gian xử lý. Thực tế triển khai cho thấy, khi các kỹ sư sử dụng dữ liệu từ nhiều lỗ khoan và các khảo sát hiện trường, khả năng đồng bộ dữ liệu tăng đáng kể, giảm nguy cơ mất thông tin trong quá trình chuyển đổi số.

Ứng dụng thiết bị di động và GPS cho phép thu thập tọa độ tự động và lưu trữ dữ liệu trực tiếp vào cơ sở dữ liệu RDBMS. Việc số hóa dữ liệu lỗ khoan theo chuẩn GEF-BORE và NEN 5104 cho thấy độ chính xác cao hơn so với phương pháp nhập liệu thủ công. Đồng thời, dữ liệu số được

đồng bộ hàng ngày với hệ thống trung tâm, đảm bảo tính toàn vẹn và sẵn sàng tích hợp vào GIS, phục vụ phân tích và mô phỏng địa kỹ thuật.

Thuật toán số cho phép giải thích dữ liệu CPT kết hợp với thông tin lỗ khoan giúp xác định ranh giới lớp đất một cách tự động và chính xác hơn, giảm sự phụ thuộc vào kinh nghiệm cá nhân. Mô hình số 3D và 4D tích hợp thông tin khảo sát, địa hình, và thông số cơ lý đất đá cho phép mô phỏng biến dạng nền theo thời gian, hỗ trợ thiết kế kỹ thuật dựa trên dữ liệu thực.

Tích hợp GIS 2D/3D với các bộ dữ liệu địa chất công trình - địa kỹ thuật cho phép trực quan hóa, xếp chồng lớp và phân tích không gian phức tạp. Dữ liệu GIS cung cấp khung không gian để lưu trữ, chuẩn hóa và tương tác với các yếu tố ảnh hưởng, trong khi học sâu khai thác khả năng nhận dạng các mối quan hệ phi tuyến và phức tạp giữa các yếu tố này, từ đó nâng cao độ tin cậy của dự báo. Đặc biệt, việc tích hợp GIS với các mô hình học máy đã chứng minh khả năng dự báo rủi ro thiên tai chính xác vượt trội so với các phương pháp truyền thống.

Hệ thống DINO của TNO-NITG chứng minh khả năng quản lý, lưu trữ và chia sẻ toàn bộ dữ liệu quốc gia về Địa chất công trình - Địa kỹ thuật, đồng thời hỗ trợ tích hợp dữ liệu từ các phân tích số, mô hình 2D/3D và GIS. Chu trình dữ liệu khép kín giúp nâng cao độ tin cậy của thông tin và rút ngắn thời gian đưa dữ liệu vào ra quyết định kỹ thuật.

4. Thảo luận

Các kết quả trên cho thấy công nghệ số không chỉ là công cụ thu thập dữ liệu, mà còn là nền tảng cho mô hình hóa, phân tích và ra quyết định kỹ thuật. Việc tiêu chuẩn hóa dữ liệu và áp dụng RDBMS cùng GIS giúp các tổ chức khảo sát nâng cao khả năng tương tác dữ liệu, giảm thiểu sai sót, và tăng cường phân tích đa chiều.

Mô hình số 2D/3D và các mô hình địa kỹ thuật như FEM, DEM, FLAC hay PFC2D/3D cho phép mô phỏng các quá trình biến dạng phức tạp theo không gian và thời gian, nhưng vẫn phụ thuộc mạnh vào chất lượng dữ liệu đầu vào. Việc áp dụng công nghệ số giúp giảm bất định từ giải thích thủ công, nhưng đồng thời đặt ra yêu cầu cao về khả năng đồng bộ và chi tiết dữ liệu khảo sát.

Kết quả mô hình học sâu GIS cho thấy tiềm năng lớn của GIS không chỉ trong trực quan hóa mà còn trong dự báo thiên tai, đặc biệt là trượt lở. Sự kết hợp dữ liệu địa hình, đặc tính đất đá, sử dụng đất, và các yếu tố môi trường tạo ra các bản đồ nhạy cảm trượt lở đáng tin cậy, hỗ trợ quản lý rủi ro và lập kế hoạch phòng chống thiên tai tại cấp khu vực và quốc gia.

Mặc dù sức mạnh tính toán ngày càng cao, các hạn chế chính không còn nằm ở phần cứng mà tập trung vào chất lượng và độ chi tiết dữ liệu đầu vào. Cần tiếp tục đầu tư vào thu thập dữ liệu số hóa chất lượng cao, áp dụng chuẩn hóa quốc tế, và tích hợp các công cụ GIS và mô hình học máy để tối ưu hóa khả năng dự báo. Ngoài ra, việc mở rộng chia sẻ dữ liệu giữa các tổ chức và sử dụng dữ liệu lớn sẽ là nền tảng quan trọng cho chuyển đổi số toàn diện trong Địa chất công trình - Địa kỹ thuật.

Tài liệu tham khảo

Benz, T. and S. Nordal (2010). Numerical methods in geotechnical engineering, CRC Press London.

Burrough, P. A., R. A. McDonnell and C. D. Lloyd (2015). Principles of geographical information systems, Oxford University Press, USA.

Chalon, P., B. Karcher and C. Allen (1993). An Innovative Data Modeling Methodology Applied to Petroleum Engineering Problems. SPE Petroleum Computer Conference, SPE.

Coerts, A. (1996). Analysis of static cone penetration test data for subsurface modelling: A methodology, Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap Utrecht.

Culshaw, M. (2003). Bridging the gap between geoscience providers and the user community. New Paradigms in Subsurface Prediction: Characterization of the Shallow Subsurface Implications for Urban Infrastructure and Environmental Assessment, Springer: 7-26.

Efron, B. (1994). An introduction to the bootstrap, Chapman and Hall/CRC.

Goodchild, M. F. (1992). "Geographical information science." International journal of geographical information systems 6(1): 31-45.

Itasca, C. (2011). "FLAC: fast Lagrangian analysis of continua." User Manual, Itasca Consulting Group.

Longley, P. A., M. F. Goodchild, D. J. Maguire and D. W. Rhind (2015). Geographic information science and systems, John Wiley & Sons.

Loudon, T. V. (2000). Geoscience after IT: a view of the present and future impact of information technology on geoscience, Elsevier.

Nhu, V.-H. (2021). Building a High-Resolution 3D Geotechnical Model of Hanoi City (Vietnam) for Geohazard Assessment and Sustainable Development. Proceedings of the International Conference on Innovations for Sustainable and Responsible Mining, Cham, Springer International Publishing.

Nhu, V.-H., N.-D. Hoang, H. Nguyen, P. T. T. Ngo, T. Thanh Bui, P. V. Hoa, P. Samui and D. Tien Bui (2020). "Effectiveness assessment of Keras based deep learning with different robust optimization algorithms for shallow landslide susceptibility mapping at tropical area." CATENA 188(2020): 13.

Phoon, K.-K. and C. Tang (2019). "Characterisation of geotechnical model uncertainty." Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards 13(2): 101-130.

Potyondy, D. O. and P. A. Cundall (2004). "A bonded-particle model for rock." International journal of rock mechanics and mining sciences 41(8): 1329-1364.

Rengers, N., R. Hack, M. Huisman, S. Slob and W. Zigterman (2002). "Information Technology applied to engineering geology." Engineering Geology for Developing Countries.

Robertson, P. K. (2016). "Cone penetration test (CPT)-based soil behaviour type (SBT) classification system—an update." Canadian Geotechnical Journal 53(12): 1910-1927.

Slob, S., R. Hack and A. K. Turner (2002). An approach to automate discontinuity measurements of rock faces using laser scanning techniques. ISRM EUROCK, ISRM.

Wang, L., X. Zhang, Y. Hong, T. Xiao, Z. Cao, S. Li and S. Wu (2025). "Efficient 3D geological modeling for offshore wind farm with sparse CPTU and borehole data." Canadian Geotechnical Journal 62: 1-23.

Foundations and Technologies of Digital Transformation in Geotechnical and Engineering Geology

Nhu Viet Ha[1,*]

[1]*Hanoi University of Mining and Geolgy*

**Corresponding author: Email: nhuvietha@humg.edu.vn*

Abstract

This paper evaluated the potential of digital transformation in Geotechnical and Engineering Geology, focusing on the collection, processing, modeling, and analysis of data. The study covers the foundations and technologies of digital transformation, employing a methodology that integrates international standards (IAEG, ISRM, ISSMGE, POSC) with modern technologies: automatic borehole data collection via mobile devices and GPS, interpretation of static penetration tests using numerical algorithms, 3D terrain modeling with LIDAR, geotechnical simulations with FEM/DEM, and GIS-based spatial analysis. The results show that digital transformation facilitates the synchronization and standardization of data from multiple sources, reduces dependence on manual processing, enables detailed 2D/3D modeling, and supports the simulation of geotechnical phenomena and high-accuracy landslide hazard prediction. The study confirms that digital transformation is not merely a data collection tool but also a foundation for modeling, analysis, and engineering decision-making, enhancing reliability and practical effectiveness in geotechnical and engineering geology.

Keywords: Digital transformation; Engineering geology; Geotechnics; Digital modeling; GIS.

MỘT SỐ VẤN ĐỀ VỀ CÔNG TÁC QUẢN LÝ CÔNG TRÌNH ĐỂ PHÒNG TRÁNH SỰ CỐ TRONG XÂY DỰNG

Nguyễn Thị Nụ[1,*]
[1]*Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
**Tác giả liên hệ: Email: nguyenthinu@humg.edu.vn*

Tóm tắt

Sự phát triển kinh tế - xã hội kéo theo nhu cầu xây dựng và mở rộng cơ sở hạ tầng, tuy nhiên thực tế cho thấy nhiều sự cố công trình đã xảy ra trong quá trình thi công cũng như khai thác sử dụng, gây thiệt hại nghiêm trọng về người và tài sản, đồng thời làm suy giảm uy tín ngành xây dựng và niềm tin xã hội vào chất lượng công trình. Nguyên nhân của các sự cố rất đa dạng, có thể xuất phát từ công tác quản lý hoặc kỹ thuật, và xảy ra ở bất kỳ giai đoạn nào của vòng đời công trình: từ khảo sát, thiết kế, thi công đến vận hành. Các yếu tố thường gặp bao gồm khảo sát địa chất chưa đầy đủ, thiết kế chưa tối ưu, thi công sai quy trình, sử dụng vật liệu kém chất lượng, công tác giám sát lỏng lẻo hoặc kiểm định chưa khách quan; bên cạnh đó, tác động của điều kiện tự nhiên và biến đổi môi trường cũng góp phần làm tăng nguy cơ sự cố. Trên cơ sở phân tích thực trạng và nguyên nhân, bài báo tổng hợp một số giải pháp nhằm phòng tránh sự cố trong xây dựng, tập trung vào việc nâng cao chất lượng khảo sát và thiết kế, quản lý chặt chẽ quá trình thi công và vật liệu, tăng cường vai trò của giám sát và kiểm định độc lập, ứng dụng các công nghệ số hiện đại như BIM, GIS, AI trong quản lý công trình, đồng thời hoàn thiện cơ chế pháp luật và chế tài xử lý. Việc triển khai đồng bộ các giải pháp này được kỳ vọng sẽ góp phần giảm thiểu sự cố, nâng cao chất lượng, độ an toàn và tính bền vững của công trình xây dựng.

Từ khoá: Quản lý công trình; sự cố xây dựng; chất lượng công trình.

1. Mở đầu

Ngành xây dựng giữ vai trò quan trọng trong sự phát triển kinh tế - xã hội, góp phần hình thành hệ thống hạ tầng kỹ thuật, công trình dân dụng, công nghiệp và dịch vụ. Tốc độ đô thị hóa nhanh, cùng với nhu cầu đầu tư xây dựng ngày càng lớn, đã đặt ra nhiều thách thức mới trong việc quản lý chất lượng công trình. Thực tiễn cho thấy, nếu công tác quản lý không được thực hiện chặt chẽ, nguy cơ sự cố xảy ra là rất cao, đặc biệt đối với các công trình có quy mô lớn, kết cấu phức tạp hoặc thi công trong điều kiện địa chất - thủy văn khó khăn. Ở Việt Nam, nhiều sự cố nghiêm trọng đã được ghi nhận như vụ sập nhịp cầu Cần Thơ (2007), sự cố giàn giáo Formosa (2015), hay các vụ lún, nứt nhà cao tầng trong quá trình thi công ở Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh. Theo thống kê, trung bình mỗi năm có từ 20 đến 30 sự cố công trình, trong đó khoảng 60% xuất phát từ hạn chế trong khâu quản lý khảo sát, thiết kế và thi công.

Vấn đề quản lý sự cố xây dựng đã được nhiều nhà khoa học trong và ngoài nước quan tâm. Ở phạm vi quốc tế, nghiên cứu của Love và nnk (2010) đã phân tích nguyên nhân sai sót trong thiết kế và nhấn mạnh vai trò của quy trình quản lý rủi ro trong phòng tránh sự cố. Lingard và Rowlinson (2005) đề cập đến khía cạnh an toàn lao động trong quản lý thi công, coi đây là yếu tố then chốt để hạn chế sự cố công trình. Tại Việt Nam, Trần Chủng (2008) đã hệ thống hóa các sự cố xây dựng điển hình, chỉ ra những bất cập trong quản lý chất lượng; Nguyễn Bá Uân và nnk (2016) nhấn mạnh yêu cầu nâng cao năng lực quản lý dự án và giám sát thi công; Gần đây, Nam P.D. và Tuấn N.A. (2025) đã đề xuất ứng dụng công nghệ BIM trong quản lý tiến độ và chi phí phần ngầm công trình cao tầng, góp phần nâng cao chất lượng và giảm thiểu rủi ro trong thi công xây dựng. Các nghiên cứu trên đã chỉ ra nhiều nguyên nhân sự cố và đề xuất các giải pháp, song chủ yếu tập trung vào từng khâu riêng lẻ như thiết kế, thi công hoặc giám sát, chưa có sự tổng hợp toàn diện trên cả chuỗi vòng đời công trình.

Xuất phát từ khoảng trống đó, nghiên cứu này tập trung tổng hợp, phân tích các khía cạnh của công tác quản lý công trình xây dựng trên cơ sở tổng hợp nguyên nhân sự cố từ thực tiễn, đồng thời đề xuất một số giải pháp tổng thể nhằm phòng tránh sự cố. Bài báo kỳ vọng góp phần cung cấp cơ sở khoa học và thực tiễn cho việc nâng cao chất lượng, đảm bảo an toàn và phát triển bền vững ngành xây dựng tại Việt Nam.

2. Cơ sở lý thuyết

Công trình xây dựng là sản phẩm của lao động con người kết hợp với vật liệu, thiết bị và công nghệ, được gắn liền với đất hoặc mặt nước. Theo Luật Xây dựng (2014, sửa đổi 2020), công trình được phân loại thành công trình dân dụng, công nghiệp, giao thông, thủy lợi, hạ tầng kỹ thuật và công trình quốc phòng - an ninh. Mỗi loại công trình có đặc thù về quy mô, tính chất kỹ thuật và yêu cầu quản lý khác nhau, nhưng đều phải đảm bảo an toàn, bền vững và đáp ứng nhu cầu xã hội.

Chất lượng công trình được hiểu là mức độ đáp ứng yêu cầu của thiết kế, tiêu chuẩn và quy chuẩn kỹ thuật. Nó bao gồm nhiều khía cạnh như độ bền, tính an toàn, công năng, thẩm mỹ và hiệu quả kinh tế - xã hội. Một công trình chỉ thực sự đạt chất lượng khi không chỉ đảm bảo yêu cầu kỹ thuật trong giai đoạn nghiệm thu mà còn vận hành ổn định, bền vững trong suốt vòng đời.

Quản lý chất lượng công trình là tập hợp các hoạt động quản lý nhằm đảm bảo công trình xây dựng đạt chất lượng theo yêu cầu. Công tác quản lý bao gồm kiểm soát toàn bộ quá trình từ khảo sát, thiết kế, lựa chọn vật liệu, thi công, nghiệm thu cho đến bảo trì, vận hành. Nếu một khâu trong chuỗi này bị buông lỏng, nguy cơ sự cố sẽ gia tăng.

Sự cố công trình được định nghĩa là những hư hỏng vượt quá giới hạn an toàn cho phép, gây nguy cơ hoặc thực tế sập đổ một phần hoặc toàn bộ công trình. Sự cố có thể được phân loại theo cơ chế hư hỏng (sập đổ, biến dạng, sai lệch vị trí, không đáp ứng công năng), theo cấp độ (từ sự cố nhỏ đến sự cố đặc biệt nghiêm trọng) hoặc theo mức độ thiệt hại kinh tế - xã hội. Việc phân loại sự cố giúp nhà quản lý đánh giá đúng mức độ rủi ro, từ đó lựa chọn giải pháp phòng ngừa và xử lý phù hợp.

3. Thực trạng và nguyên nhân sự cố công trình

Trong giai đoạn gần đây, cùng với sự gia tăng các dự án xây dựng quy mô lớn tại Việt Nam, số lượng sự cố công trình vẫn ở mức đáng lo ngại. Theo kết quả khảo sát, mỗi năm trung bình ghi nhận từ 20 đến 30 sự cố công trình, trong đó tập trung nhiều ở các công trình dân dụng cao tầng, nhà xưởng công nghiệp và cầu đường. Nhiều sự cố gây hậu quả nghiêm trọng, không chỉ ảnh hưởng đến tiến độ, chi phí mà còn làm chết và bị thương nhiều người.

Các sự cố thường gặp có thể kể đến: sập giàn giáo, nứt lún nhà cao tầng, sự cố trong quá trình đào hố móng, lún nền và sập mái nhà xưởng. Đặc biệt, các công trình liền kề khu vực đô thị thường bị ảnh hưởng khi tiến hành thi công công trình mới, do tác động của đào đất sâu, hạ mực nước ngầm hoặc chấn động từ việc đóng cọc, ép cọc. Thực tiễn cho thấy, sự cố công trình không chỉ đến từ sai sót kỹ thuật, mà còn xuất phát từ việc thiếu các biện pháp quản lý đồng bộ và chặt chẽ. Phùng Vĩnh An (2017) cũng đề cập một số công trình đê do thiết kế, thi công không đảm bảo chất lượng, do quản lý hoặc quản lý đầu tư xây dựng cơ bản không tuân thủ các quy định. Tổng kết một số nguyên nhân sự cố công trình của nhiều tác giả (Đoàn Thế Tường, 2013; Nguyễn Thị Nụ, 2021) rút ra một số nguyên nhân sự cố và có thể chia thành các nhóm chính.

1) Thứ nhất là khâu khảo sát và thiết kế chưa đầy đủ, số liệu địa chất không chính xác hoặc tính toán kết cấu chưa hợp lý. Ví dụ điển hình là cao ốc Pacific (TP.HCM, khởi công 17/12/2005). Theo thiết kế ban đầu, công trình gồm 3 tầng hầm, 1 trệt, 20 lầu, nhưng trong thi công thực tế là 6 tầng hầm, 1 trệt, 23 lầu. Tường vây sâu 45 m và cọc barrette 65 cọc sâu 66,8 m không đồng bộ với điều kiện địa chất thực tế, dẫn đến hư hỏng nhiều phòng làm việc tại Viện Khoa học Xã hội vùng Nam Bộ và sụp đổ một phần nhà 2 tầng vào ngày 9/10/2007. Hố sụt tiếp tục phát triển sang các công trình liền kề đến đầu năm 2008. biệt thự 2 tầng tại 31B Trần Phú, Hà Nội (xây từ thập niên 1930) cũng gặp sự cố lún nghiêm trọng. Công trình 3 tầng, diện tích 17,5 × 7,7 m, tường gạch 0,22-0,33 m, sàn bê tông cốt thép, móng băng gạch 0,33-0,5 m sâu 1-1,5 m, đặt trực tiếp trên nền

đất yếu. Kết quả khảo sát cho thấy tải trọng dài hạn lớn và lớp bùn sét lẫn hữu cơ dày là nguyên nhân chính gây lún công trình. Đập Suối Hành (Khánh Hòa, vỡ 1986) cũng thuộc nhóm này: khảo sát địa chất kém, bỏ sót các chỉ tiêu quan trọng về đất đắp, vật liệu đất không đồng đều nhưng thiết kế dựa trên chỉ tiêu trung bình, dẫn đến vỡ đập nghiêm trọng.

Hình 1. Nhà lân cận sụp đổ (Viện Khoa học Xã hội) do thi công hố đào cao ốc Pacific (ST)

2) Thứ hai là thi công sai quy trình, ví dụ như chất tải vật liệu quá mức, cốp pha giàn giáo không ổn định hoặc cắt giảm các hạng mục an toàn. Tại cao ốc Saigon Residence (Nguyễn Siêu, TP.HCM, sự cố 30/10/2007), vỉa hè tiếp giáp chung cư Cosaco bị lún 2 m, diện tích 30 m^2, gây nghiêng nền chung cư 18-32 mm, buộc cư dân di chuyển khẩn cấp. Nguyên nhân chính là tường cừ thép dọc đường phố không liên tục, thiếu độ cứng, kết hợp thi công sát công trình cũ.

Hình 2. Vỉa hè sát chung cư Cosaco bị sụp một hố sâu làm chung cư bị nghiêng (ST).

3) Thứ ba là chất lượng vật liệu không đảm bảo, sử dụng vật liệu kém chất lượng hoặc thay đổi vật liệu mà không được kiểm tra, thẩm định. Trong sự cố cầu dẫn Cần Thơ (nhịp cầu sập 2007), các cọc trụ tạm T13 chịu tải không đồng đều do lớp cát nền khác nhau, dẫn đến lún lệch 12 mm, mất ổn định trụ tạm và sập nhịp cầu, gây 54 người chết và 80 người bị thương.

Hình 3. Sự cố sập đổ nhịp cầu Cần Thơ

4) Thứ tư là công tác quản lý yếu kém, thiếu giám sát thường xuyên, nghiệm thu mang tính hình thức và thiếu sự phối hợp giữa các bên liên quan. Các dự án xây chen đô thị như cao ốc Pacific và Saigon Residence đều thả lỏng quản lý từ khảo sát hiện trạng, kiểm tra chất lượng cọc, tường đến quan trắc địa kỹ thuật. Đường ống áp lực km6+386 (2012): địa chất yếu (tích tụ pdQ, sũng nước) và tác động đào hố khoan xử lý sụt hầm, kết hợp xâm thực từ suối, làm đường ống bị đứt, nước tràn ra ngoài. Tổ hợp Hóa dầu Miền Nam (Long Sơn Petrochemicals - LSP) tại Bà Rịa - Vũng Tàu có tổng vốn đầu tư 5,4 tỷ USD, là tổ hợp hóa dầu đầu tiên của Việt Nam với công suất 1,6 triệu tấn/năm, nhằm thay thế sản phẩm polyolefin nhập khẩu. Dự án bao gồm khu sản xuất hóa dầu, cảng nước sâu và các hạ tầng phụ trợ. Trong quá trình thi công, hồ xử lý nước thải của dự án (kích thước 47m × 54m × 2,4m, dung tích 6.091 m^3) xuất hiện nhiều vết nứt ở đáy, có xu hướng lan rộng và gây hiện tượng nước rò rỉ lên bề mặt.

Hình 4. Sự cố tại Tổ hợp Hóa dầu Miền Nam

5) Ngoài ra, các yếu tố khách quan như thiên tai, bão lũ cũng có thể gây ra sự cố, nhưng thường chiếm tỷ lệ nhỏ so với nguyên nhân chủ quan. Ví dụ, trong năm 2024, mưa lớn kéo dài tại các tỉnh miền núi phía Bắc và Tây Nguyên đã gây nhiều vụ sạt lở đất nghiêm trọng: sạt lở tại xã Chiềng Nơi, huyện Mai Sơn, Sơn La (24/7/2024) làm 6 người chết; tại xã Mường Pồn, huyện Điện Biên (24-25/7/2024) khiến 7 người chết và mất tích, hàng chục ngôi nhà bị vùi lấp; trên Quốc lộ 34 (tháng 7/2024) làm 11 người chết, sập 49 nhà và hư hại nhiều tài sản. Những sự cố này chủ yếu do lượng mưa lớn, đất bão hòa nước và địa hình dốc, khó kiểm soát, nhưng tỷ lệ xảy ra so với các nguyên nhân chủ quan trong xây dựng vẫn thấp.

Hình 5. Hiện tượng trượt đất đá tại xã Chiềng Nơi, huyện Mai Sơn, Sơn La

3. Giải pháp quản lý để phòng tránh sự cố

Để phòng tránh sự cố công trình, cần có hệ thống giải pháp quản lý tổng thể và đồng bộ. Các giải pháp này cần bao trùm từ khâu thiết kế, lựa chọn vật liệu, tổ chức thi công đến giám sát, nghiệm thu và vận hành.

Trước hết, việc tuân thủ quy định về khảo sát, thiết kế, thi công, sử dụng công trình và quy định pháp luật là yếu tố then chốt. Trước hết, việc tuân thủ các quy định, tiêu chuẩn và quy phạm pháp luật trong toàn bộ quá trình xây dựng là yếu tố then chốt để phòng tránh sự cố. Trong giai đoạn khảo sát, cần áp dụng các tiêu chuẩn như TCVN 9390:2012 về khảo sát xây dựng, TCVN 10304:2014 về điều kiện địa kỹ thuật nền móng và TCVN 4453:2012 về lập báo cáo khảo sát nền móng và công trình, nhằm đảm bảo thông tin chính xác và đầy đủ cho thiết kế. Trong giai đoạn thiết kế, phải tuân thủ các tiêu chuẩn như TCVN 5574:2018 về vật liệu xây dựng, TCVN 4453:2012 về thiết kế kết cấu bê tông cốt thép, TCVN 9389:2012 về thiết kế móng và nền, cùng QCVN 03:2021/BXD về an toàn trong xây dựng. Trong thi công và giám sát, các tiêu chuẩn như QCVN 03:2021/BXD về an toàn lao động, TCVN 10304:2014 về thi công móng và nền, TCVN 4454:2012 về quản lý chất lượng thi công bê tông cốt thép cần được tuân thủ nghiêm ngặt. Cuối cùng, trong vận hành và sử dụng công trình, tiêu chuẩn TCVN 4515:2012 về bảo trì và kiểm tra công trình, cùng giám sát nền móng theo TCVN 10304:2014, giúp đảm bảo công trình vận hành ổn định, an toàn và hạn chế rủi ro. Việc tuân thủ đồng bộ các tiêu chuẩn này, kết hợp với thanh tra, kiểm tra và xử lý nghiêm vi phạm, là cơ sở để nâng cao hiệu quả quản lý và phòng tránh sự cố công trình. Các chủ thể tham gia xây dựng không được phép thay đổi thiết kế, chủng loại vật liệu hoặc kết cấu công trình một cách tùy tiện. Các cơ quan quản lý cần siết chặt chế tài xử lý đối với những trường hợp vi phạm, đồng thời tăng cường thanh tra, kiểm tra trong quá trình thi công.

Một giải pháp quan trọng khác là khống chế tải trọng và kiểm soát điều kiện thi công. Công trình phải được thi công đúng theo quy trình kỹ thuật đã được phê duyệt, không được chất tải vượt mức thiết kế cho phép, đồng thời đảm bảo vật liệu và thiết bị thi công được bố trí an toàn. Hệ thống cốp pha, giàn giáo cần được lắp đặt chắc chắn, kiểm tra định kỳ và tuân thủ các tiêu chuẩn an toàn, đặc biệt trong điều kiện thời tiết bất lợi như mưa bão hoặc gió lớn. Việc bảo đảm an toàn cho các công trình tạm, kết cấu tạm thời và khu vực thi công cũng đóng vai trò quan trọng trong việc hạn chế sự cố, bảo vệ công trình chính và đảm bảo an toàn cho người lao động.

Trong thời đại số, ứng dụng công nghệ là giải pháp không thể thiếu. Mô hình thông tin công trình (BIM) cho phép mô phỏng thiết kế, kiểm soát xung đột kỹ thuật và quản lý tiến độ. Mô hình thông tin công trình (BIM - Building Information Modeling) là phương pháp số hóa công trình, tạo dựng mô hình 3D hoặc đa chiều chứa đầy đủ thông tin về kiến trúc, kết cấu, cơ điện và vật liệu, đồng thời hỗ trợ quản lý tiến độ, chi phí, giám sát chất lượng và phòng ngừa sự cố. Quy trình BIM bắt đầu từ thu thập dữ liệu đầu vào, bao gồm khảo sát hiện trạng, thông tin địa chất, điều kiện môi trường, tải trọng và các tiêu chuẩn, quy phạm áp dụng. Tiếp theo là xây dựng mô hình BIM, mô phỏng kiến trúc, kết cấu, hệ thống cơ điện, gắn thông tin vật liệu, đặc tính kỹ thuật, tuổi thọ và liên kết các bộ môn để có mô hình phối hợp tổng thể. Sau đó, mô hình được sử dụng để phát hiện xung đột kỹ thuật (Clash Detection), điều chỉnh thiết kế trước khi thi công, tránh sai sót phối hợp. BIM còn kết hợp với lập kế hoạch thi công và quản lý tiến độ (4D), dự báo tiến độ, điều chỉnh nguồn lực và hạn chế quá tải; với quản lý chi phí và vật liệu (5D) để kiểm soát sử dụng vật liệu, dự toán chi phí chính xác. Trong quá trình thi công, BIM hỗ trợ giám sát và quản lý rủi ro, cập nhật tiến độ thực tế, theo dõi biến dạng, tải trọng công trình, phát hiện sớm nguy cơ sự cố. Cuối cùng, BIM phục vụ vận hành và bảo trì (6D - 7D) bằng cách lưu trữ toàn bộ thông tin về bảo dưỡng, thay thế vật liệu, lịch kiểm tra, giúp quản lý vòng đời công trình và hạn chế sự cố trong giai đoạn khai thác. Nhờ vậy, BIM giúp giảm sai sót thiết kế, kiểm soát tiến độ, tải trọng, hỗ trợ ra quyết định nhanh khi phát hiện rủi ro và lưu trữ thông tin toàn diện cho phòng ngừa sự cố lâu dài.

Cảm biến IoT có thể giám sát biến dạng, lún nứt của công trình theo thời gian thực, giúp phát hiện nguy cơ sự cố ngay từ đầu. Dữ liệu thu thập được truyền về hệ thống quản lý trung tâm, nơi các thuật toán phân tích tự động đánh giá mức độ ổn định của công trình. Khi phát hiện các bất thường, ví dụ như biến dạng vượt ngưỡng thiết kế, tốc độ lún tăng nhanh hoặc xuất hiện vết nứt nghiêm trọng, hệ thống sẽ cảnh báo ngay lập tức cho kỹ sư và quản lý dự án, cho phép can thiệp kịp thời trước khi sự cố xảy ra. Ngoài ra, dữ liệu IoT còn được lưu trữ để phân tích xu hướng, dự báo rủi ro và hỗ trợ bảo trì, vận hành công trình lâu dài, góp phần nâng cao hiệu quả phòng tránh

sự cố và đảm bảo an toàn toàn diện.

Bên cạnh đó, Hệ thống Thông tin Địa lý (GIS) hỗ trợ quản lý, phân tích và trực quan hóa dữ liệu không gian liên quan đến công trình và hạ tầng xung quanh. GIS cho phép xác định vị trí, hiện trạng, kết nối hạ tầng, mối quan hệ địa hình và điều kiện môi trường, từ đó hỗ trợ quy hoạch, đánh giá rủi ro, ra quyết định và giám sát công trình một cách toàn diện. Việc tích hợp GIS với dữ liệu thi công, giám sát IoT và mô hình BIM giúp quản lý hạ tầng theo hướng đồng bộ, phát hiện các khu vực tiềm ẩn nguy cơ sự cố, tối ưu hóa việc phân bổ nguồn lực và lập kế hoạch bảo trì, góp phần nâng cao hiệu quả phòng tránh sự cố và đảm bảo an toàn lâu dài cho công trình.

Nâng cao năng lực quản lý và nhân lực là giải pháp then chốt để phòng tránh sự cố công trình. Các kỹ sư, cán bộ quản lý và công nhân thi công cần được đào tạo định kỳ về an toàn lao động, tiêu chuẩn kỹ thuật, quy trình thi công và các quy định pháp luật hiện hành, nhằm nâng cao nhận thức và kỹ năng thực hành. Các nhà thầu cần tăng cường trách nhiệm nghề nghiệp, thực hiện nghiêm ngặt chế độ chứng chỉ hành nghề và đánh giá năng lực nhân sự trước khi triển khai dự án, đảm bảo đội ngũ đủ trình độ để quản lý và thi công công trình an toàn. Đồng thời, việc tổng kết, phân tích và rút kinh nghiệm từ các sự cố đã xảy ra là cơ sở quan trọng để hoàn thiện quy trình quản lý, cải thiện biện pháp kỹ thuật và nâng cao hiệu quả phòng ngừa sự cố trong các dự án tương lai, góp phần bảo đảm an toàn, chất lượng và ổn định lâu dài cho công trình.

Khi sự cố công trình xảy ra, việc xử lý phải tuân thủ các nguyên tắc cơ bản để đảm bảo an toàn và hạn chế thiệt hại. Trước tiên, cần xác định nguyên nhân một cách chính xác và toàn diện, bao gồm cả yếu tố kỹ thuật, tổ chức thi công và điều kiện môi trường. Tiếp đó, tiến hành đánh giá mức độ ảnh hưởng đến công trình, con người và các yếu tố xung quanh, từ đó lựa chọn phương án xử lý vừa an toàn, vừa hiệu quả về kinh tế, đồng thời đảm bảo không để lại di chứng lâu dài cho công trình. Bên cạnh đó, cần phân định rõ trách nhiệm giữa các bên liên quan, bao gồm chủ đầu tư, nhà thầu, tư vấn thiết kế và giám sát, nhằm rút ra bài học kinh nghiệm, hoàn thiện quy trình quản lý và nâng cao hiệu quả phòng tránh sự cố trong các dự án tiếp theo.

4. Kết luận

Sự cố công trình xây dựng là vấn đề phức tạp, có thể xuất phát từ nhiều nguyên nhân khác nhau. Trong đó, yếu tố quản lý đóng vai trò quyết định, bởi nó chi phối toàn bộ quá trình từ khảo sát, thiết kế, thi công đến nghiệm thu và vận hành. Nếu công tác quản lý được thực hiện nghiêm túc và đồng bộ, nguy cơ sự cố sẽ được giảm thiểu đáng kể.

Bài báo khẳng định rằng, để phòng tránh sự cố, cần triển khai đồng thời nhiều giải pháp: tuân thủ pháp luật xây dựng, tuân thủ quy trình khảo sát, thiết kế, kiểm soát chất lượng vật liệu và thi công, ứng dụng công nghệ hiện đại, nâng cao năng lực nhân lực và duy trì công tác bảo trì công trình định kỳ. Các giải pháp này không chỉ góp phần hạn chế sự cố mà còn nâng cao hiệu quả kinh tế, xã hội và môi trường, hướng tới phát triển bền vững cho ngành xây dựng.

Từ góc độ kiến nghị, Bộ Xây dựng cần tiếp tục hoàn thiện khung pháp lý và tăng cường công tác thanh tra. Các chủ đầu tư, nhà thầu và tư vấn phải tuân thủ nghiêm quy định quản lý chất lượng, đồng thời chủ động ứng dụng các công nghệ mới. Cộng đồng kỹ sư xây dựng cần tích cực học hỏi, rèn luyện kỹ năng và phát triển năng lực nghề nghiệp, nhằm đáp ứng yêu cầu ngày càng cao của xã hội về chất lượng và an toàn công trình.

Tài liệu tham khảo

Love, P. E. D., Edwards, D. J., & Irani, Z. (2010). Design error costs in construction projects. Engineering, Construction and Architectural Management, 17(6), 552-567.

Lingard, H., & Rowlinson, S. (2005). Occupational health and safety in construction project management. Taylor & Francis.

Dung, Đ.T.M. (2018). Những vấn đề chung về chất lượng công trình xây dựng. Tạp chí Xây dựng, 11(2018), 87-21.

Nguyễn, B. U. (2012). Tập bài giảng Quản lý dự án xây dựng nâng cao. Trường Đại học Xây dựng Hà Nội.

Nam, P.D., Tuấn, N.A. (2025). Ứng dụng BIM trong quản lý tiến độ và chi phí phần ngầm công trình cao tầng. Tạp chí Xây dựng (online)

Luật Xây dựng (2014, sửa đổi 2020). Quốc hội nước CHXHCN Việt Nam.

ISO 9001:2015. Hệ thống quản lý chất lượng - Yêu cầu.

Hùng, N.V, Chủng, T. và nnk (2006). Phân tích, đánh giá sự cố các công trình xây dựng dân dụng và công nghiệp Việt Nam. Đề tài cấp Bộ, mã số RD 65, Hà Nội.

Lê Kiều, Sự cố công trình nguyên nhân, giải pháp khắc phục.

Phùng Vĩnh An (2017), Nguyên nhân sự cố và bài học kinh nghiệm trong thiết kế, thi công và quản lý đê điều. Tạp chí Khoa học và Công nghệ thủy lợi, số 38.

Đoàn Thế Tường (2013). Sự cố nền móng nguyên nhân, biện pháp giảm thiểu và cứu chữa. Bài giảng cho lớp cao học kỹ thuật địa chất - địa chất công trình.

Nguyễn Thị Nụ (2021). Sự cố công trình xây dựng. Bài giảng trường Đại học Mỏ - Địa chất danh cho ngành Kỹ thuật địa chất, chuyên ngành Địa chất công trình - Địa kỹ thuật.

Some Issues in Construction Management to Prevent Incidents in Building Projects

Nguyen Thi Nu, Hanoi University of Mining and Geology

**Corresponding author: Email: nguyenthinu@humg.edu.vn*

Abstract

Socio-economic development has led to increased demand for construction and infrastructure expansion. However, many construction incidents have occurred during both the execution and operational phases, causing serious damage to human life and property, while also undermining the reputation of the construction industry and public confidence in project quality. The causes of such incidents are diverse, originating from either management or technical aspects, and can occur at any stage of a project's life cycle-from survey, design, and construction to operation. Common contributing factors include incomplete geological surveys, suboptimal designs, improper construction procedures, use of low-quality materials, lax supervision, or biased inspection. Additionally, natural conditions and environmental changes further increase the risk of incidents. Based on an analysis of current conditions and causes, this paper summarizes several solutions to prevent construction incidents, focusing on improving the quality of surveys and designs, strictly managing construction processes and materials, enhancing the role of supervision and independent inspections, and applying modern digital technologies such as BIM, GIS, and AI in project management, while also completing legal frameworks and enforcement mechanisms. The coordinated implementation of these solutions is expected to reduce incidents and enhance the quality, safety, and sustainability of construction projects.

Keywords: Construction management; construction incidents; construction quality.

RIVER DYNAMICS AND POST-FLOOD SAND REGENERATION: A GEODYNAMIC AND SEDIMENTOLOGICAL APPROACH

Pham Phuoc Toan[1], Do Quang Thien[2*]

[1] *The Government Inspectorate of Viet Nam*

[2]*University of Sciences, Hue University,*

**Corresponding author: Email: thiendq@hueuni.edu.vn*

Abstract

This study introduces an integrated framework for analyzing river dynamics and post-flood sand regeneration based on modern geodynamics and fluvial sedimentology. Rivers are viewed as open geodynamic systems in which flow energy and sediment continuously interact to maintain dynamic equilibrium. By synthesizing classical theories of sediment balance, stream power, and morphological recovery, the research establishes a three-tier analytical structure linking hydraulics, sediment transport, and morphodynamics. The approach is demonstrated through applications of MIKE 11/21, HEC-RAS, and CAESAR-Lisflood models in Central Vietnam's river basins, where sand mining and morphological variability are pronounced. Results indicate that natural sand regeneration after floods restores about 60–80% of eroded materials, reflecting the intrinsic self-recovery capacity of fluvial systems. The study contributes to developing a scientific basis for sustainable river sand management and provides a novel perspective on post-flood morphodynamic recovery in tropical river environments.

Keywords: Sediment regeneration; Hydrodynamic-sediment modeling; Morphodynamic recovery.

1. Introduction

1.1. Research Context

River systems are highly dynamic components of the Earth's surface, reflecting the interactions among climate, topography, geology, and human activity. Fluvial geodynamic processes govern the formation, transport, and redistribution of sediments, particularly riverbed sand and gravel-resources vital for both economic and ecological functions.

In Vietnam, these materials are indispensable for construction yet increasingly threatened by climate change and human interventions such as damming, channel modification, and overexploitation. Frequent extreme floods not only reshape river morphology but also trigger natural regeneration of sand resources, forming new sandbars and replenishing deposits after each event.

However, this regeneration has rarely been examined within the frameworks of modern geodynamics and fluvial sedimentology. Most studies emphasize resource estimation or morphological change, neglecting the mechanisms that drive natural recovery. As a result, current river sand management remains short-term and lacks a scientific basis for assessing the inherent resilience of fluvial systems.

1.2. Scientific Problems and Research Gaps

Flood processes involve not only destructive erosion but also a depositional–recovery phase in which rivers regain energy balance and morphological stability. From a geodynamic standpoint, post-flood regeneration of riverbed sand and gravel arises from interactions among flow energy, sediment transport, and channel morphology within specific spatial–temporal settings.

Despite its importance, major knowledge gaps persist. No unified theoretical framework yet explains the dynamics and mechanisms of post-flood sediment regeneration, nor do existing models fully integrate erosion, transport, deposition, and recovery cycles. The relative influence of natural factors (hydraulic forces, topography, grain size) and human impacts (mining, dams,

channel modification) remains uncertain. Moreover, quantitative indicators for assessing the resilience of riverbed sediments after floods are lacking.

These gaps underscore the need for a new conceptual and analytical framework that views rivers as open geodynamic systems capable of self-adjustment and energy rebalancing through continuous sediment exchange.

1.3. Objectives and Orientation

Based on the above context and research gaps, this paper aims to: (1) Clarify the research perspective on river dynamics in relation to the mechanism of post-flood river sand regeneration, grounded in modern geodynamics and fluvial sedimentology; (2) Systematize the theoretical foundations of sediment transport, deposition processes, and morphodynamic recovery mechanisms of river channels following floods; (3) Propose an integrated conceptual–analytical framework for studying and modeling the dynamics of river sand regeneration, serving as a foundation for future quantitative and modeling research.

Rather than focusing on resource assessment or detailed numerical simulations, this study primarily seeks to establish a theoretical and methodological foundation for a new field of research - "River Dynamics and the Mechanism of Post-Flood River Sand Regeneration" - which holds growing practical importance for sustainable management of river sand resources in Vietnam and the broader Southeast Asian region.

2. Research Perspectives

2.1. Fluvial Geodynamic Approach

2.1.1. The Geodynamic Nature of River Systems

From a geodynamic perspective, a river represents an open dynamic system in which the flow acts as the carrier of energy, while sediments serve as the medium for transferring both mass and energy across space and time. A river does not merely respond passively to external drivers such as rainfall, discharge, topography, and human activities; rather, it exhibits self-adjusting behavior, continuously striving to maintain the balance of energy and material through the cyclic processes of erosion - transport - deposition - recovery (Thien et al., 2016).

Fluvial dynamics encompass the full suite of physical processes occurring within the flow system, including: (1) Flow dynamics, governing the movement and energy distribution of water; (2) Sediment transport dynamics, controlling particle entrainment, suspension, and deposition; and (c) Morphodynamic feedbacks, which represent the mutual adjustment between flow and channel form. These three components are tightly interconnected, forming an integrated geodynamic mechanism that governs channel evolution, restructuring, and sediment regeneration following each flood cycle.

2.1.2. Deposition Dynamics and Regeneration Dynamics

In river systems, *deposition* occurs as an immediate response to reduced flow energy, forming temporary sediment accumulations in low-velocity zones. In contrast, *regeneration* represents the cumulative effect of repeated depositional events combined with sustained sediment input from upstream or lateral sources, leading to the reformation and stabilization of sand–gravel bodies after floods.

Regeneration dynamics therefore extend beyond simple deposition, reflecting the river's capacity to restore morphological stability and sediment balance. This process is governed by several interrelated factors: flow energy and direction, sediment supply and composition, pre-flood morphology, flood frequency and magnitude, and human interventions such as mining or dam construction.

Within a fluvial geodynamic framework, these interactions can be interpreted as the river's continuous self-regulation toward dynamic equilibrium between flow energy and sediment load. When disturbed by overexploitation, equilibrium may collapse, causing incision or erosion; yet

under natural replenishment, the system can recover through geodynamic regeneration (Thien et al., 2016).

2.2. Fluvial Sedimentological Approach

2.2.1. Characteristics of River Sediments and the Fluvial Sedimentary Cycle

River sediments result from weathering, transport, deposition, and reworking within a dynamic energy regime. From a sedimentological perspective, riverbed sand and gravel form an open sedimentary cycle in which materials are mobilized from slopes or banks, transported, and repeatedly redeposited until dynamic equilibrium is reached. Key parameters-sorting (S_o), skewness (S_k), median grain size (M_d), curvature (C_c), and uniformity (C_u)-quantify sediment origin, transport energy, and regeneration processes, which fluctuate markedly during floods, reflecting shifts between transport and depositional phases.

2.2.2. The Role of Floods in Sediment Regeneration

Floods represent the dominant energy pulse in the fluvial sedimentary cycle. During rising stages, increased hydraulic energy erodes and mobilizes sediments; as flow declines, coarser sand and gravel settle, forming new layers or sandbars that underpin riverbed regeneration. From a sedimentological perspective, regeneration reflects recurrent depositional events governed by discharge, sediment supply, and channel morphology. Post-flood features-such as vertical grain-size variation, alternating erosional-depositional contacts, and cross-bedding-serve as key indicators of regeneration cycles, providing a basis for assessing the natural recovery capacity of sand-gravel resources after disturbance.

2.3. Integrated Geodynamic-Sedimentological Perspective

2.3.1. The River as an Integrated Geodynamic-Sedimentary System

Modern approaches view the river not merely as a hydraulic corridor, but as an integrated fluvial geosystem in which energy, materials, and morphology continuously interact and reorganize. Within this framework: Topographic and hydraulic dynamics control flow distribution and energy pathways; Sedimentological processes govern the direction and intensity of deposition, accretion, and regeneration; and anthropogenic influences act as modulating factors, altering the natural equilibrium of the system (Thien et al., 2012). This relationship can be conceptually summarized as: Sediment Supply → Flow Energy → Transport → Deposition → Regeneration → Dynamic Equilibrium. This cycle provides the theoretical foundation for studying the dynamics and mechanisms of river sand regeneration after floods, and for forecasting the recovery of sand-gravel resources under future scenarios of climate change and human exploitation.

2.3.2. System Thinking and Evolutionary Approach

Within this integrated perspective, the study of river sand dynamics and regeneration must be grounded in the principles of landscape evolution and the sediment-energy cycle. Systems thinking allows rivers to be viewed as evolving entities, where each flood or human intervention represents only a phase in the broader morphological adjustment process (Thien, 2014). Therefore, the study of riverbed sand-gravel regeneration should not be confined to short-term depositional phenomena, but should aim to assess the morphological resilience of the river system, its capacity to: Redistribute materials following floods; Maintain or restore sediment balance; and self-adjust channel morphology over time. This perspective establishes a new research paradigm: interpreting river sand regeneration as a geodynamic indicator of fluvial system health. It has practical applications in morphodynamic forecasting, sustainable resource planning, and integrated management of water and sediment resources.

3.1. Principles of Sediment Balance and Channel Morphological Adjustment

3.1.1. Mass-Energy Balance in River Systems

Within the framework of fluvial geodynamics, a river system is conceptualized as a dynamic equilibrium system between stream power and sediment load. According to *Schumm (1977)* and *Leopold et al. (1964)*, any alteration in discharge, slope, bed material, or grain size induces compensatory adjustments throughout the system to achieve a new state of equilibrium.

The general form of the sediment continuity equation can be expressed as:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = -\frac{1}{(1-\lambda)}\frac{\partial Q_s}{\partial x} \quad (1)$$

where: η = bed elevation (m);

Q_s = sediment transport rate along the channel (m^3/s); λ = sediment porosity

This equation indicates that temporal variations in bed elevation (erosion or deposition) are governed by spatial gradients in sediment transport rate.When Q_s decreases → deposition occurs; when Q_s increases → erosion dominates.

During flood stages, Q_s rises sharply but unevenly distributed along the channel, leading to erosion in high-energy reaches and deposition in low-energy zones. After the flood subsides, the system gradually adjusts toward a new equilibrium state, representing the intrinsic mechanism of riverbed regeneration.

3.1.2. The Theory of Dynamic Morphological Equilibrium

The dynamic morphological equilibrium theory posits that a river channel continuously tends to maintain a morphological configuration compatible with its prevailing hydraulic, sedimentary, and energy conditions. Flood-induced disturbances temporarily disrupt this balance, after which the channel undergoes self-organization to re-establish a more stable form.

Key controlling factors of morphological equilibrium include: (1) Bankfull discharge, representing characteristic channel-forming flow; (2) Channel slope and water-level variability, influencing energy distribution; (3) Median grain size (D_{50}) and sediment load, determining mobility thresholds; (4) Channel pattern, such as meandering, braided, or bar–island development. This theoretical framework provides a basis for explaining the regeneration of riverbed sand and gravel as a morphological recovery process directed toward dynamic equilibrium.

3.2. Stream Power and Sediment Transport Theory

3.2.1. Stream Energy Intensity and Flow Power

According to Bagnold (1966), stream power (Ω) is the fundamental measure of a flow's capacity to transport sediment and erode the bed, defined by: $\Omega = \rho.g.Q.S$ (2)

or per unit channel width: $\omega = \Omega.W = \rho.g.Q.S/W$ (3)

where: ρ = density of water (kg/m^3); g = gravitational acceleration (m/s^2); Q = discharge (m^3/s); S = energy slope; W = channel width (m)

During flood events, stream power increases sharply, initiating the transport phase characterized by strong entrainment and sediment mobility. As discharge declines, flow energy dissipates, and the system transitions into the depositional phase. The alternating sequence of these two phases - erosion and deposition - constitutes the cyclic process of scouring, sedimentation, and regeneration that governs riverbed dynamics.

3.2.2. Sediment Transport Mechanisms

Sediment transport in rivers occurs as suspended load-fine silt and sand kept in motion by turbulence, and bed load, comprising coarse sand and gravel moving along the bed by rolling,

sliding, or saltation. Empirical formulas by Meyer-Peter and Müller (1948), Engelund and Hansen (1967), and Van Rijn (1984) underpin transport simulations in models such as MIKE 11, MIKE 21C, and HEC-RAS 2D. From a mechanical perspective, river sand regeneration begins when shear stress exceeds the critical threshold during floods; as flow energy declines, particles settle in low-velocity zones, forming sandbars and depositional layers that, through repeated flood cycles, evolve into stable sand bodies, the morphodynamic foundation of riverbed recovery.

3.3. Post-Flood Morphodynamic Recovery Theory

3.3.1. Concept and Characteristics

Morphodynamic recovery denotes the self-adjustment of channel morphology after floods or anthropogenic disturbances that disrupt equilibrium. It generally proceeds through three stages: (1) Disturbance - intense erosion and channel shifting; (2) Readjustment - sediment deposition and partial flow reorganization; and (3) Re-equilibration - establishment of a new quasi-stable form. Following Howard (1994) and Phillips (2011), recovery degree depends on the balance between sediment supply and flow energy, the extent of morphological alteration, the recurrence of flood events, and the intensity of human activities such as sand mining or channel modification.

3.3.2. Modeling Approaches to Morphodynamic Recovery

Modern numerical models commonly used to simulate and quantify river channel recovery are presented in Table 1.

Table 1. *Selected numerical models commonly applied to assess river recovery capacity*

Model	Dimensional Scale	Main Features	Application in Regeneration Studies
MIKE 11 / MIKE 21C	1D – 2D	Simulates unsteady hydraulics, sediment transport, and bed evolution over time	Predicts erosion-deposition patterns and post-flood riverbed sand-gravel regeneration
HEC-RAS 2D	2D	Models unsteady flow and morphodynamic adjustments	Evaluates recovery following extreme flood events
CAESAR-Lisflood	2D (morphodynamic evolution)	Simulates long-term flow–sediment interactions	Analyzes floodplain and bar evolution over multi-decadal timescales
Delft3D	2D – 3D	Integrates flow, waves, and sediment processes	Investigates estuarine and coastal sand–gravel regeneration

These models are founded on the Exner sediment continuity equation coupled with the Saint–Venant shallow-water equations, providing a robust framework that links flow energy, sediment load, and bed morphology dynamics. Collectively, they form the analytical foundation for understanding the mechanisms of post-flood river sand regeneration.

3.4. Sediment–Energy Balance Theory

According to *Ashmore & Church (1998)*, river systems evolve toward a state of sediment–energy equilibrium, expressed as: $P_{input} = P_{output} + \Delta P_{storage}$ (4)

where: P_{input} represents the incoming energy and material flux (from rainfall, slope erosion, or upstream sources); P_{output} denotes the outgoing flux (sediment deposition in downstream reaches or estuaries); $\Delta P_{storage}$ is the change in sediment storage within the basin.

During flood events, the system experiences a sudden energy input, temporarily breaking the equilibrium. The river then self-restores through depositional and regenerative phases, reestablishing a new balance. This concept provides the theoretical foundation for assessing the natural recovery capacity of river sand resources-an essential aspect of sustainable sediment resource management.

3.5. Integrating Theoretical Foundations: Conceptual Model Framework

Synthesizing the theories above, a comprehensive conceptual framework for studying the

dynamics and mechanisms of river sand regeneration can be outlined as follows:

- Energy-Sediment Inputs: rainfall, floods, slope erosion, and sediment sources.
- Geodynamic Processes: transport, erosion–deposition, and channel deformation.
- Regeneration Phase: cumulative deposition cycles forming stable sand bodies.
- Morphodynamic Recovery: channel readjustment toward a new equilibrium state.
- System Feedback: natural recovery potential as an indicator for resource management.

This framework supports morphodynamic–sediment modeling, enabling evaluation of regeneration potential and development of a Morphodynamic Recovery Index (MRI) for river basins affected by sand mining.

4. Methodological Approach and Analytical Framework

4.1 Methodological Orientation

Research on post-flood river sand regeneration requires close integration of hydraulic–sediment modeling, geomorphic analysis, and quantitative field data. The core methodological principle states that each regeneration process reflects the spatial–temporal redistribution of hydrodynamic energy and sediment mass within the fluvial system. Accordingly, the study employs a three-layer analytical framework: (1) Hydrodynamic layer - simulating flow velocity, water level, shear stress, and energy; (2) Sediment transport layer - quantifying transport rates, erosion–deposition balance, and sediment flux; (3) Morphodynamic layer - analyzing channel-bed evolution, bar formation, and mechanisms of sand–gravel recovery.

4.2 Integration of Numerical Modeling and Field Observation

To quantify post-flood processes, the study integrates MIKE 11/21**,** HEC-RAS, and CAESAR-Lisflood models. Each serves a specific purpose but is linked through a common geodynamic-sediment framework.

MIKE 11/21: Hydraulic and Sediment Dynamics: MIKE 11 (1D) simulates longitudinal variations in water level, discharge, and energy along the river axis, providing boundary and hydrograph inputs. MIKE 21 (2D) resolves flow velocity, shear stress, and eddy–divergence zones to define erosion–deposition patterns. Model outputs identify post-flood flow deceleration zones favorable for sand–gravel regeneration.

HEC-RAS: Channel Morphology Analysis: Using the Sediment Transport/Morphology module, HEC-RAS quantifies pre-, syn-, and post-flood morphological change, computes erosion-deposition volumes, and evaluates morphodynamic recovery. Calibration and validation rely on ADCP and echosounder–DGPS cross-sectional data.

CAESAR-Lisflood: Long-Term Morphodynamics: CAESAR-Lisflood simulates basin-scale energy distribution and sediment transport, models sandbar formation and stabilization, and analyzes long-term trends toward morphological equilibrium under recurring floods.

4.3 Field Monitoring and Sedimentological Analysis

Hydromorphological Survey: Field measurements are conducted before, during, and after flood seasons to record water level, velocity, depth, and channel geometry. UAV imagery, remote sensing, and high-precision sonar–DGPS surveys provide detailed mapping of bar and estuarine morphological changes.

Sediment Sampling and Grain-Size Analysis: Samples from riverbed and floodplain deposits are analyzed for grain-size parameters (M_d, S_o, S_k, C_u) and mineral composition (quartz, feldspar, lithic fragments) to determine sediment sources. These results distinguish post-flood regenerative layers from long-term accumulative deposits, thereby identifying phases of river sand regeneration.

4.4 Integrated Analytical Framework

By integrating numerical modeling with field data, a composite analytical framework for river sand dynamics and regeneration is established, comprising four components:

(1) Hydraulic–Morphological Inputs: discharge, flow energy, and bed topography;

(2) Sediment Response: transport, erosion–deposition, and settling;

(3) Morphological Feedback: channel adjustment and bar formation;

(4) Regeneration Assessment: quantifying recovered sand volume, spatial patterns, and sustainable use potential.

This framework maintains longitudinal–lateral connectivity and explicitly links dynamics, materials, morphology, and temporal evolution within the river system.

4.5 Advantages of the Integrated Approach

The proposed approach enables: (1) Distinction between temporary depositional processes and true regenerative dynamics of river sand resources; (2) Quantification of natural sediment recovery capacity under varying hydrological conditions; and (3) development of evidence-based tools for sustainable sand resource management grounded in geodynamic principles.

In summary, the integrated modeling-field-sedimentological approach establishes a comprehensive analytical foundation for studying river dynamics and sand regeneration mechanisms. It represents an advanced research direction well-suited to evaluating the natural recovery potential of river sand resources under conditions of climate change and intensive exploitation.

5. Experimental Applications and Future Research Directions

5.1 Pilot Applications in Central Vietnam River Basins

To validate the proposed methodological framework, three representative basins in North Central Vietnam-the Thach Han, Gianh, and Nhat Le rivers-were selected. These systems exhibit strong geodynamic activity, large flood amplitudes, and intensive sand mining, making them ideal for assessing erosion–deposition and post-flood regeneration dynamics.

Study Areas: (1) Thach Han River: Braided morphology, 6–9 m flood amplitude, and numerous transient sandbars; (2) Nhat Le River: Coastal outlet influenced by both floods and tides, marking a fluvial–marine transition; (3) Gianh River: Meandering channel dominated by sand–gravel sediments and high morphological variability.

Testing Methods: Model integration (MIKE 11/21, HEC-RAS, CAESAR-Lisflood) employed time-series data (2016–2023) on rainfall, discharge, and bathymetry, supported by UAV imagery and sediment analyses. Initial results show accurate simulation of post-flood bar regeneration and quantification of natural sand replenishment, defining the rivers' intrinsic recovery thresholds.

5.2 Preliminary Results on CLS Regeneration Dynamics

Spatial Distribution: Simulations and field data show that regeneration zones typically develop at channel expansions, meander bends, confluences, and estuaries where flow energy decreases, as well as downstream of obstacles (bars, bed steps, bridge piers) that generate local reverse flows.

Hydrodynamic and Morphological Controls: When flood energy declines, medium-to-coarse sand settles selectively, while branching and stepped morphologies enhance stable bar formation instead of temporary deposits.

Sediment Balance: Model results indicate that after medium floods (T = 50 years), natural regeneration restores about 60–80% of eroded sediment. Under large floods (T = 100 years), alternating erosion–deposition cycles intensify but maintain overall sediment equilibrium, provided human extraction remains within natural recovery limits.

5.3 Scientific and Practical Significance

Scientific Significance: Confirms the natural regenerative capacity of river sand resources under suitable hydrodynamic conditions; Provides a quantitative foundation for the concept of *regenerative dynamics*-a novel approach in modern fluvial geodynamics; Contributes to the development of the dynamic sediment balance theory, incorporating the concept of post-flood morphological recovery.

Practical Significance: Establishes a basis for sustainable sand mining regulation aligned with natural regeneration cycles; Supplies data for river resource planning, erosion control, and morphological conservation; Supports post-mining rehabilitation strategies, integrating geodynamic monitoring with climate adaptation policies.

5.4 Future Research Directions

Future work will focus on:

Fluvial-Coastal Connectivity Modeling: Linking riverine and coastal processes to assess sediment transport from upstream to estuaries under climate change scenarios.

Advanced Sensing and Big Data: Using ADCP, LiDAR, UAV mapping, and machine learning to identify erosion-deposition zones and quantify sediment budgets automatically.

Sediment Recovery Index (SRI): Developing an index to measure each river reach's post-flood self-replenishment capacity for sustainable sand management.

Policy Integration: Applying the *Extract-Monitor-Regenerate (EMR)* framework to connect geodynamic science with natural resource governance.

6. Conclusion

This study introduces an integrated framework for analyzing river dynamics and post-flood sand regeneration based on modern geodynamics and fluvial sedimentology. Key findings are as follows:

(1) Research Perspective: Rivers are conceptualized as open geodynamic systems with continuous energy-material exchange, while sedimentology explains the spatial-temporal redistribution of materials through transport and deposition. Their integration establishes a unified framework linking hydrodynamics, morphology, and sediment processes.

(2) Theoretical and Methodological Basis: Classical concepts of sediment budget, stream power, and morphodynamic equilibrium provide the foundation for assessing sediment transport and recovery. The combined use of MIKE, HEC-RAS, and CAESAR models with field and UAV-LiDAR data enables multi-scale simulation of post-flood regeneration.

(3) Applications and Outlook: Pilot studies in Central Vietnam validate the framework's applicability. Future research should extend to diverse basins, integrating remote sensing, IoT-based sensors, and real-time modeling to enhance predictive capacity and support sustainable river sand management.

References

Ashmore, P., and Church, M. 1998. Sediment transport and river morphology: a paradigm for river restoration. *Progress in Physical Geography*, 22(2), pp. 195-216.

Bagnold, R.A. 1966. An approach to the sediment transport problem from general physics. *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 422-I, pp. 1-37.

Brunner, G.W. 2021. *HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual, Version 6.0*. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center (HEC), Davis, California.

Church, M. 2006. Bed material transport and the morphology of alluvial river channels. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 34, pp. 325-354.

Coulthard, T.J., Neal, J.C., Ramirez, J., de Almeida, G.A.M., and Hancock, G.R. 2013. Integrating the CAESAR-Lisflood model with the LISFLOOD-FP hydrodynamic model: implications for modelling landscape evolution. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38(15), pp. 1897-1906.

Dade, W.B., and Friend, P.F. 1998. Grain-size, sediment-transport regime, and channel slope in alluvial rivers. *The Journal of Geology*, 106(6), pp. 661-676.

Deltares. 2014. *Delft3D-FLOW User Manual*. Deltares, Delft, The Netherlands, 684 pp.

DHI (Danish Hydraulic Institute). 2017. *MIKE 11 & MIKE 21 Flow Model - Hydrodynamic and Sediment Transport User Guide*. Hørsholm, Denmark.

Engelund, F., and Hansen, E. 1967. *A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams*. Teknisk Forlag, Copenhagen, 62 pp.

Ferguson, R.I. 2005. Estimating critical stream power for bedload transport calculations in gravel-bed rivers. *Geomorphology*, 70(1-2), pp. 33-41.

Hooke, J.M. 2003. River meander behaviour and instability: a framework for analysis. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 28(2), pp. 238-253.

Howard, A.D. 1994. A detachment-limited model of drainage basin evolution. *Water Resources Research*, 30(7), pp. 2261-2285.

Knighton, D. 1998. *Fluvial Forms and Processes: A New Perspective*. Arnold, London, 383 pp.

Leopold, L.B., Wolman, M.G., and Miller, J.P. 1964. *Fluvial Processes in Geomorphology*. W.H. Freeman and Company, San Francisco, 522 pp.

Meyer-Peter, E., and Müller, R. 1948. Formulas for bed-load transport. *Proceedings of the 2nd Meeting of the International Association for Hydraulic Structures Research*, Stockholm, pp. 39-64.

Phillips, C.B., and Jerolmack, D.J. 2016. Self-organization of river channels as a critical filter on climate signals. *Science*, 352(6286), pp. 694–697.

Phillips, J.D. 2011. Emergence and pseudo-equilibrium in geomorphic systems. *Geomorphology*, 132(3-4), pp. 319-326.

Schumm, S.A. 1977. *The Fluvial System*. Wiley-Interscience, New York, 338 pp.

Thien, D.Q., Thanh, N., and Do, H.N.T. 2012. Effects of torrential rainfall on the Gianh Riverbank erosion in the context of climate change. *Proceedings of the International Workshop on Geo-Engineering for Responding to Climate Change and Sustainable Development of Infrastructure*, pp. 54–60.

Thien, D.Q., Nhan, T.T., and Thanh, N. 2012. The implicit danger of the Vu Gia-Thu Bon cascading hydropower system for sediment accumulation in the lower section. *Proceedings of the International Conference on Green Technology and Sustainable Development*, Vietnam, pp. 25–34.

Thien, D.Q. 2014. *Research on the erosion-accumulation processes of rivers in the mid-central part of Vietnam and proposed preventive solutions.* Ministry-Level Research Project, Code: B2011-DHH02, Hue University of Sciences, Vietnam.

Thien, D.Q., and Do, H.N.T. 2016. Assessment and prediction of riverbank erosion processes in Quang Binh Province: A case study of the Gianh and Nhat Le rivers. *Proceedings of the Third International Conference VietGeo 2016 - Geological and Geotechnical Engineering in Response to Climate Change and Sustainable Development of Infrastructure*, pp. 294-303.

Thien, D.Q., Nhan, T.T., Nhan, N.T.T., Dennis, G., and Do, H.N.T. 2016. Evaluation of erosion processes along main river channels in the mid-central part of Vietnam. *Proceedings of the 2nd National Conference on Transport Infrastructure for Sustainable Development*, Construction Publishing House, Vietnam, pp. 317-326.

Van Rijn, L.C. 1984. Sediment transport, part I: Bed load transport. *Journal of Hydraulic Engineering*, 110(10), pp. 1431–1456.

Wohl, E. 2014. *Rivers in the Landscape: Science and Management*. Wiley-Blackwell, Oxford, 320 pp.

KỶ YẾU HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC

VIETGEO 2025

TRƯỜNG ĐẠI HỌC TRÀ VINH

NGÀY 24 & 25 THÁNG 10 NĂM 2025

CHỦ ĐỀ II

KỸ THUẬT XÂY DỰNG VÀ VẬT LIỆU ĐỊA KỸ THUẬT

ĐỀ XUẤT TỶ LỆ PHỐI TRỘN XỈ LÒ CAO VỚI CÁT LÀM VẬT LIỆU THAY THẾ CÁT TRONG XÂY DỰNG

Nguyễn Thị Thanh Nhàn[1,*], Trần Thanh Nhàn[1], Trần Thị Ngọc Quỳnh[1], Đỗ Quang Thiên[1]

[1]Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế

**Tác giả liên hệ: Email: nttnhan@hueuni.edu.vn*

Tóm tắt

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu một số tính chất cơ lý của hỗn hợp xỉ hạt lò cao với cát như thành phần hạt của hỗn hợp phối trộn, tỷ trọng, các giá trị hệ số rỗng emax, emin, biến đổi dung trọng khô theo độ ẩm,... Kết quả cho thấy hầu hết các mẫu phối trộn đều cải thiện tốt về độ phù hợp cấp phối hạt và đáp ứng yêu cầu cho cốt liệu nhỏ của bê tông theo TCVN 7570:2006. Kết quả nghiên cứu về cường độ kháng nén và tính thấm cho thấy đối với mẫu có tỷ lệ phối trộn r = 40% đến r = 50% khi thời gian thủy hóa > 168 ngày cho kết quả đảm bảo điều kiện tính thấm ($k = 10^{-3}$ cm/s) theo TCVN 11713:2017 cũng như về cường độ kháng nén 1 trục rất tốt ($q_u \sim 1000$ kN/m^2) mà không cần phụ gia. Đây là cơ sở khoa học nhằm bước đầu nghiên cứu thay thế cát bởi xỉ theo 2 tỷ lệ phối trộn (r = 40% và r = 50%) khi thời gian thủy hóa > 168 ngày là hoàn toàn hợp lý và đáp ứng về mặt xây dựng đối với vật liệu cát ngày càng thiếu hụt nghiêm trọng.

Từ khóa: Tỷ lệ phối trộn, xỉ lò cao, vật liệu thay thế cát.

1. Đặt vấn đề

Trong lĩnh vực xây dựng, hiện nay vấn đề phát thải khí nhà kính, đặc biệt khí CO_2 đang được cho rằng môi trường xây dựng là một trong những nguyên nhân gây ra biến đổi khí hậu toàn cầu liên quan đến khí thải CO_2, nước tiêu thụ, chất thải chôn lấp và vật liệu thô đã qua sử dụng (BERR, 2008) gây biến đổi khí hậu. Việc sử dụng các loại chất thải và sản phẩm phụ công nghiệp để thay thế vật liệu tự nhiên trong xây dựng cơ sở hạ tầng và dân dụng giúp giảm thiểu việc sử dụng vật liệu khai thác, giảm năng lượng tiêu thụ, giảm chất thải và khí thải, hướng tới phát triển bền vững trong xây dựng (Liu và nnk, 2022; Matsuda và nnk, 1998; Shinozaki và nn; Lê Văn Hùng, 2016; Trần Thanh Nhàn và nnk, 2020; Nguyễn Thị Thanh Nhàn và nnk, 2022).

Theo nghiên cứu của Diễn đàn Kinh tế Thế giới và McKinsey, chuyển đổi sang mô hình kinh tế tuần hoàn trong xây dựng có thể giảm đáng kể phát thải CO_2 và tạo ra lợi nhuận ròng 360 tỷ USD mỗi năm vào năm 2050. Việc sử dụng vật liệu tái chế và năng lượng tái tạo là những yếu tố quan trọng trong quá trình này. Nghiên cứu của tổ chức quốc tế Water Integrity Network cho biết, từ năm 2008 đến nay, có tới 90% các bãi biển trên thế giới ngày càng bị ngắn lại do tình trạng khai thác cát quá mức ở vùng đáy biển gần bờ, 70% bãi biển ở nhiều quốc gia có nguy cơ biến mất vào năm 2100 do tình trạng sạt lở. Nguyên nhân là bởi thực trạng khai thác cát quá mức tại các vùng sông hồ và bãi biển đã góp phần làm tăng mức độ tàn phá của lũ lụt.

Với nhận thức về vấn đề môi trường, chính phủ và chính quyền địa phương các tỉnh có nhà máy sản xuất gang thép đã và đang khuyến khích nghiên cứu sử dụng vật liệu nhân tạo, đặc biệt vật liệu tái chế nhằm bổ sung lượng thiếu hụt và từng bước thay thế cát trong xây dựng (Quyết định số 145/2007/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ).

Như đã biết, sản lượng gang thép ở Việt Nam năm 2007 khoảng 12 triệu tấn/năm và dự kiến sẽ đạt khoảng 18 triệu tấn/năm vào năm 2025. Như vậy, mỗi năm, lượng xỉ thải ra từ các nhà máy luyện gang thép trên cả nước sẽ lên đến 1 - 1,5 triệu tấn. Lượng xỉ này tương ứng với thể tích khoảng 300.000 - 500.000m^3. Nếu tính toán sơ bộ, lượng xỉ này đủ để thi công một lớp móng đường có chiều dày 30cm, rộng 7,0m và dài khoảng 200km (Châu Long, 2017).

Hiện nay, Việt Nam đang phải đối mặt với nguồn vật liệu cát phục vụ xây dựng ngày một khan hiếm và thiếu hụt nghiêm trọng. Theo dự báo, đến năm 2030 nhu cầu tiêu thụ cát xây dựng nước ta vào khoảng 182 - 195 triệu m^3/năm trong khi lượng cát khai thác hiện nay chỉ đáp ứng khoảng

50% - 65% và lượng cát phục vụ xây dựng sẽ cạn kiệt sau 10 - 15 năm khai thác (Báo điện tử Bộ Xây dựng, năm 2022) (Quyết định số 430/QĐ-BXD). Chính sự thiếu hụt trầm trọng của cát làm giá thành tăng vọt trong những năm gần đây kéo theo nạn khai thác cát lậu quá mức gây ra hàng loạt hệ lụy về kinh tế, kỹ thuật, môi trường và an ninh.

Trước thực trạng trên, để tìm kiếm nguồn vật liệu thay thế một phần cát trong xây dựng, nhóm tác giả đã chọn xỉ hạt lò cao (GBFS) với mục đích: giải quyết được một phần sự thiếu hụt nguồn vật liệu cát tự nhiên (cát sông); Trong điều kiện tự nhiên xỉ được thủy hóa, theo thời gian xỉ tự liên kết với nhau và tự hình thành xi măng gắn kết dẫn đến tăng cường độ (hệ thống mang tải tăng). Nếu định hướng sử dụng hợp lý sẽ đáp ứng một phần nhu cầu làm vật liệu xây dựng - đất san lấp - đất đắp nền của địa phương và vùng lân cận, tạo nguồn thu nhập và giảm áp lực về môi trường, bãi thải cho địa phương và đơn vị sản xuất.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1 Vật liệu sử dụng

Mẫu xỉ hạt lò cao dạng hạt được lấy từ bãi xỉ của Công ty TNHH gang thép Hưng Nghiệp Formosa Hà Tĩnh (Hình 1a).

Mẫu cát thì được lấy ngẫu nhiên tại các điểm khai thác cát xây dựng trên địa bàn thành phố Huế, đảm bảo điều kiện cát hạt to (loại cát đúc bê tông) (Hình 1b).

Hình 1a. Bãi thải xỉ đáy lò của Formosa (Nguồn: https://nld.com.vn)

Hình 1b. Bãi tập kết cát trên địa bàn thôn An Lỗ, xã Phong Hiền (Ảnh chụp ngày 27/8/2021)

2.2 Phương pháp nghiên cứu

2.2.1 Phương pháp thu thập, bảo quản mẫu

Mẫu xỉ hạt lò cao và cát sau khi mang về phòng thí nghiệm được phơi khô gió, bao gói và bảo quản mẫu theo TCVN 2683: 2012 để phục vụ cho quá trình nghiên cứu (Hình 2).

Mẫu cát

Mẫu xỉ

Mẫu lưu trữ

Hình 2. Ảnh chụp mẫu cát, xỉ và mẫu lưu trữ phục vụ thí nghiệm

2.2.2 Phương pháp chế bị mẫu

Mẫu thí nghiệm trong nghiên cứu này sử dụng độ chặt tương đối Dr = 80% (ranh giới giữa kết cấu chặt vừa và chặt) là kết cấu phổ biến và ổn định của đất loại cát. Cấp phối lựa chọn phối trộn xỉ - cát theo các tỷ lệ từ 20% đến 60% (80% - 20%; 70% - 30%; 60% - 40%; 50% - 50%; 40% - 60%) (Hình 3) nhằm mục đích so sánh với kết quả nghiên cứu của Nhật Bản.

a.

b.

c.

Hình 3. Các bước tiến hành chế bị mẫu

a. Cân mẫu; b. Cho mẫu vào hộp theo các tỷ lệ phối trộn; c. Đúc mẫu vào khuôn.

Mẫu sau khi chế bị được bảo quản và nhẹ nhàng đưa vào bình thủy hóa. Mẫu thí nghiệm được thủy hóa ngoài trời theo thời gian quy định (Bảng 1; Hình 4, 5).

Hình 4. Cho nước vào mẫu để thủy hóa.

Hình 5. Mẫu thủy hóa ngoài trời.

Bảng 1. *Kế hoạch thủy hóa mẫu phối trộn xỉ - cát ở điều kiện ngoài trời*

T/gian thủy hóa (ngày)	0		14		28		56			112			
Tên mẫu (*)	BT1	BT2	BT3	BT4	BT5	BT6	BT7	BT8	BT9	BT10	BT11	BT12	BT13
T/gian thủy hóa (ngày)	168				280				380				
Tên mẫu (*)	BT 14	BT 15	BT 16	BT 17	BT 18	BT 19	BT 20	BT 21	BT 22	BT 23		BT 24	BT 25

Đến thời gian thủy hóa mẫu theo kế hoạch (Bảng 2), mẫu được lấy ra để ráo nước, tiến hành thí nghiệm mẫu (Hình 6).

Hình 6. Mẫu thủy hóa xong, chờ ráo nước để thí nghiệm nén, thấm.

2.3 Phương pháp thí nghiệm xác định tính chất cơ lý cơ bản của mẫu thí nghiệm

Sau khi đảm bảo đủ số lượng mẫu cho từng cấp phối mẫu, bằng phương pháp chia tư lấy 2 phần đối diện để phục vụ thí nghiệm xác định tính chất cơ lý cơ bản của mẫu.

Thí nghiệm trong phòng tính chất vật lý mẫu thí nghiệm như sau: Thí nghiệm xác định thành phần hạt bằng phương pháp rây khô (TCVN 4198:2014); Thí nghiệm xác định tỷ trọng (TCVN 4195:2012); Thí nghiệm thấm theo phương pháp hạ mực nước (Test methods for permeability of saturated soils JGS0311); Thí nghiệm xác định hệ số rỗng lớn nhất và nhỏ nhất (Test method for minimum and maximum densities of sands JGS0161); Thí nghiệm đầm chặt tiêu chuẩn (TCN 334:2006); Thí nghiệm nén một trục nở hông (Unconfined Compression) (ASTM D2166); Thí nghiệm xác định hệ số thủy hóa (Kondo và Ohsawa, 1969).

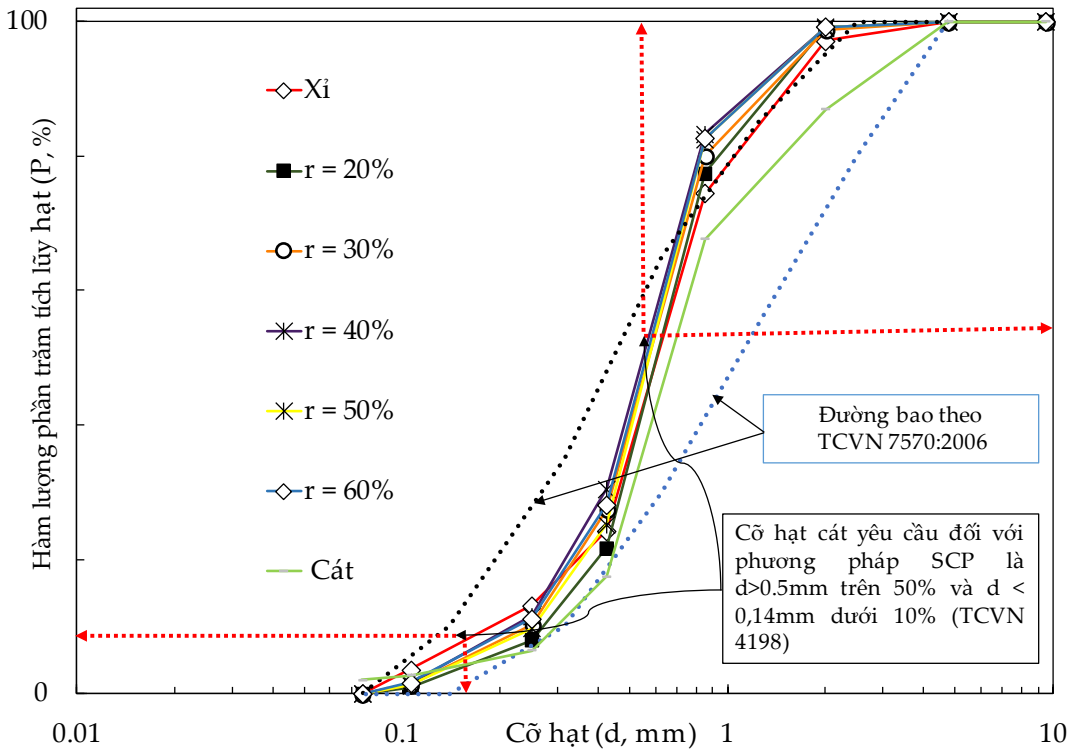
3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1 Tính chất vật lý

Kết quả phân tích thành phần hạt và chỉ tiêu vật lý mẫu cấp phối xỉ - cát phục vụ tính toán khối lượng để chế bị mẫu được trình bày ở Bảng 2, 3; Hình 7.

Bảng 2. *Kết quả phân tích thành phần hạt*

Đường kính hạt, mm	Phần trăm tích lũy hạt P, %						
	Xỉ	r = 20%	r = 30%	r = 40%	r = 50%	r = 60%	Cát
10,0	100	100	100	100	100	100	100
5,0	100	100	100	100	100	100	100
2,5	97,1	99,1	98,7	99,2	99,1	99,2	86,9
1,0	74,4	77,4	80	83,3	82,5	82,6	67,6
0,5	24,2	21,7	27,4	30,5	25,2	28,1	17,4
0,25	13,1	8,0	10,3	11,6	9,7	11,2	6,4
0,1	3,6	1,0	1,2	1,4	1,2	1,6	2,7



Hình 7. Biểu đồ thành phần hạt

a. Thành phần hạt

Từ bảng 3 và hình 8 cho thấy kích thước hạt của cát xỉ hạt lò cao làm nguội nhanh bằng nước áp lực có cỡ hạt nhỏ hơn 5 mm chiếm ưu thế, rất ít hạt mịn. Đặc điểm này giống với cát thô nên về yêu cầu thành phần hạt có thể thay thế cát tự nhiên làm cốt liệu nhỏ cho bê tông và vữa.

Khi phối trộn thêm cát sông vào xỉ theo các tỷ lệ đã lựa chọn (r = 20% - 60%) thì hầu hết các mẫu phối trộn đều có các đường cong thành phần hạt khá tương đồng nhau và đều nằm trong phạm vi đường cong cỡ hạt cho cốt liệu bê tông (đường nét đứt). Theo TCVN 4198:2014 về mặt kích thước hạt làm cốt liệu nhỏ cho bê tông thì mẫu xỉ hạt lò cao Fomosa tốt hơn so với mẫu cát sông, tuy nhiên khi phối trộn xỉ - cát theo các cấp phối đã chọn thì hầu hết các mẫu thí nghiệm đều cải thiện tốt về độ phù hợp cấp phối hạt và đều nằm trong phạm vi cong cỡ hạt đối với cốt liệu bê tông. Điều này khẳng định, mẫu cấp phối theo các tỷ lệ phối trộn đều đã đáp ứng kích thước hạt theo TCVN 11713:2017 với trên 50% (khối lượng) d > 0,5 mm và dưới 10% d < 0,14 mm.

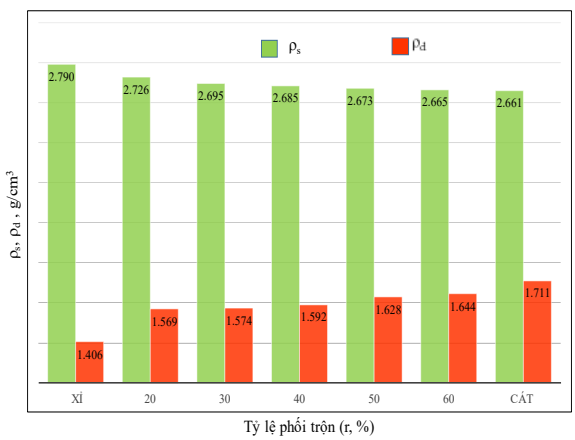
b. Tỷ trọng

+ Tỷ trọng trung bình của xỉ lò cao đạt 2,79 g/cm^3, có chênh lệch khá cao so với tỷ trọng trung bình của cát thô lòng sông 2,661 g/cm^3 là do trong mẫu xỉ thành phần hóa học cơ bản bao gồm CaO, SiO_2, Al_2O_3 và MgO còn FeO. Ngoài ra, tỷ trọng của xỉ còn phụ thuộc vào công nghệ và điều kiện thu phẩm của từng nhà máy.

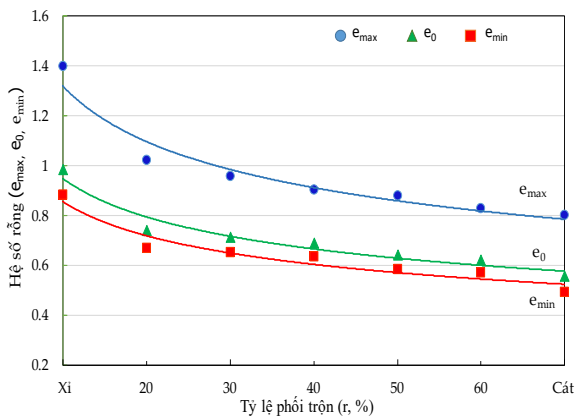
+ Do xỉ được làm nguội nhanh từ trạng thái chảy lỏng ở 1500 °C nên xỉ cấu trúc thủy tinh, góc cạnh với nhiều lỗ rỗng kín và hở, do đó hệ số rỗng tự nhiên của xỉ lớn hơn cát và ngược lại dung trọng khô của xỉ nhỏ hơn của cát (bảng 4). Khi phối trộn cát theo các tỷ lệ thì giá trị hệ số rỗng giảm do cát có khả năng lèn chặt vào các lỗ rỗng, khe hở của xỉ, lúc này dung trọng khô có xu hướng tăng tuyến tính. Điều này hoàn toàn hợp lý với tính chất của xỉ - cát và kết quả thí nghiệm (bảng 3, hình 8, 9) (Nguyễn Thị Thanh Nhàn, 2021).

Bảng 3. *Kết quả phân tích chỉ tiêu vật lý mẫu theo các tỷ lệ phối trộn tương ứng với Dr = 80%*

Tỷ lệ phối trộn (r, %)	Xỉ	r = 20%	r = 30%	r = 40%	r = 50%	r = 60%	Cát
Tỷ trọng, ρs (g/cm^3)	2,790	2,726	2,695	2,685	2,673	2,665	2,661
Hệ số rỗng lớn nhất, e_{max}	1,398	1,021	0,958	0,901	0,880	0,827	0,802
Hệ số rỗng nhỏ nhất, e_{min}	0,881	0,667	0,651	0,633	0,583	0,569	0,493
Dung trọng khô, ρ_d (g/cm^3)	1,406	1,569	1,574	1,592	1,628	1,644	1,711
Hệ số rỗng, e (80%)	0,984	0,738	0,712	0,687	0,642	0,621	0,555
K. lượng đất khô, m_s (gam)	276,07	308,01	309,01	312,58	319,56	322,88	336,05
Hệ số thấm, k (m/s)	1,35´10^{-3}	6,1240´10^{-4}	6,2489´10^{-4}	8,2282´10^{-4}	7,2788´10^{-4}	5,0059´10^{-4}	2,107´10^{-4}
	2,86E-03	6,12E-04	6,25E-04	8,23E-04	7,28E-04	5,01E-04	2,11E-04



Hình 8. Biểu đồ thể hiện tỷ trọng, dung trọng khô



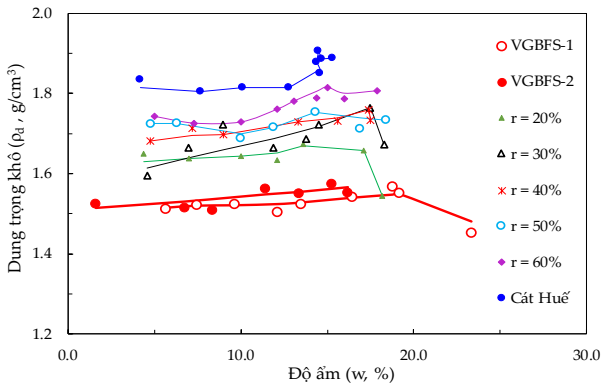
Hình 9. Biểu đồ thể hiện hệ số rỗng e_{max}, e_0, e_{min}

Biến đổi dung trọng khô (ρ_d, g/cm^3) theo độ ẩm của thí nghiệm đầm chặt tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN 4201:2012) trên mẫu GBFS Formosa, cát sông và 5 cấp phối xỉ - cát được trình bày ở Bảng 4, Hình 10.

Do dung trọng khô của xỉ bé hơn của cát nên khi phối trộn xỉ thì KLTT khô mẫu xỉ cát giảm dần trong khi đó e tăng dần. Ngoài ra, dung trọng khô của mẫu xỉ cát ít phụ thuộc vào độ ẩm nên dễ dàng thi công ở hiện trường hơn so với cát tự nhiên. Khi tỷ lệ phối trộn cát càng cao thì đường cong đầm chặt mẫu xỉ cát càng tiệm cận với đường cong đầm chặt của cát (hình 10). Đây là ưu điểm nổi bật khi sử dụng xỉ cát làm nền đắp các công trình đường giao thông và cọc xỉ cát trong cải tạo đất nền bằng phương pháp cọc - giếng cát (SPC), giúp giảm giá thành vận chuyển khi dùng xỉ thay thế cát một phần. Đây là ưu điểm quan trọng giúp giảm giá thành vận chuyển khi dùng xỉ thay thế cát một phần trong thi công tại hiện trường (Hiroshi Matsuda, Tran Thanh Nhan, 2016).

Bảng 4. *Bảng số liệu thí nghiệm đầm chặt tiêu chuẩn*

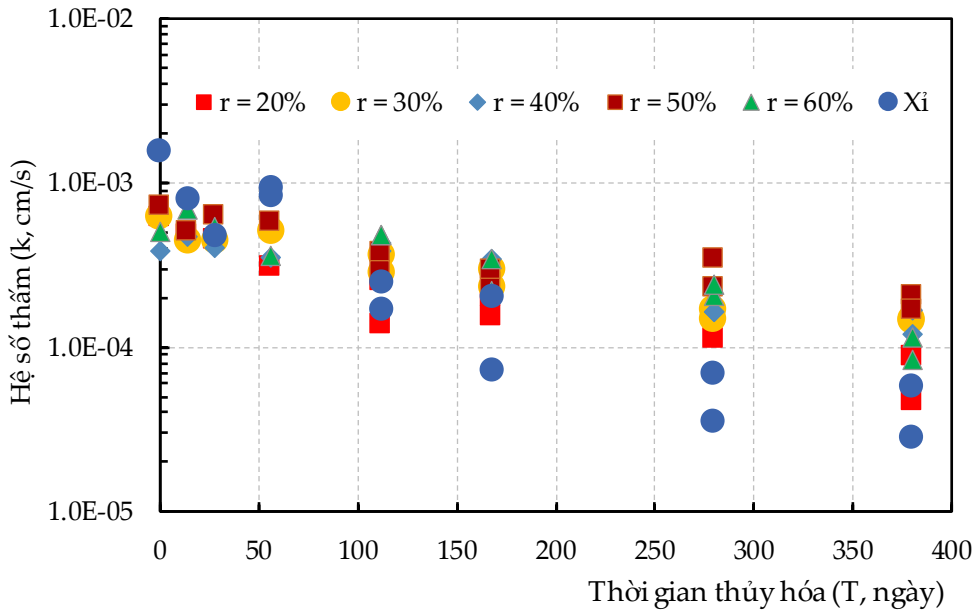
Tỷ lệ phối trộn (r, %)	Dung trọng, (g/cm^3)		Độ ẩm, %
	Ướt	*Khô lớn nhất*	*W*
Xỉ	1,753	1,552	13,2
r = 20%	1,901	1,674	13,6
r = 30%	1,971	1,721	14,5
r = 40%	2,002	1,732	15,6
r = 50%	2,004	1,754	14,3
r = 60%	2,048	1,790	14,4
Cát	2,121	1,850	14,6



Hình 10. Biểu đồ đầm chặt tiêu chuẩn

3.2 Kết quả tính thấm bằng phương pháp hạ thấp mực nước

Cùng với sự gia tăng thời gian thủy hóa, độ bền nén của mẫu xỉ tăng lên do hợp chất thủy hóa liên kết các hạt xỉ có trong hỗn hợp mẫu và tích tụ trong lỗ rỗng của mẫu sẽ làm giảm độ thấm nước. Tuy nhiên, do cát không có đặc tính thủy hóa nên tính thấm k tăng lên phụ thuộc vào tỷ lệ phối trộn cát. Kết quả tính thấm của hỗn hợp phối trộn xỉ - cát được biểu diễn ở biểu đồ Hình 11.



Hình 11. Biểu đồ thể hiện kết quả thấm k (m/s) của mẫu thí nghiệm.

Từ Hình 11 dễ dàng nhận thấy hệ số thấm K khá cao, dao động từ 10^{-2} đến 10^{-3} m/s đối với mẫu phối trộn GBFS chứa 20% đến 60% khối lượng cát khi thời gian thủy hóa từ 0 đến 28 ngày. Do khoảng thời gian từ 0 đến 28 ngày, các hạt xỉ chưa tạo ra các hợp chất thủy hóa nên chưa gắn kết các hạt xỉ với nhau, lúc này tính thấm của mẫu phối trộn gần giống như là tính thấm qua cát hạt thô. Khi thời gian thủy hóa đạt từ 56 ngày thì tính thấm bắt đầu giảm và đến 380 ngày thì giảm đến 10^{-3} đến 10^{-4} m/s. Điều này chứng tỏ, khi mẫu thủy hóa càng lâu, các hạt xỉ tạo ra các hợp chất thủy hóa gắn kết các hạt xỉ với nhau, khả năng thấm của mẫu bắt đầu giảm và đạt đến 10^{-4} m/s. Lúc này, mẫu trở nên rắn chắc và cứng hơn do hợp chất thủy hóa liên kết các hạt xỉ có trong mẫu phối trộn, làm giảm độ lỗ rỗng và do đó tính thấm giảm theo.

Từ Hình 11 cho thấy tính thấm của 2 cấp tỷ lệ phối trộn (r = 40 % và r = 50%) biến động khá ổn định, hệ số thấm K = 10^{-3} m/s hoàn toàn phù hợp với yêu cầu về vật liệu cát làm cọc - giếng cát (theo TCVN 11713:2017). Do đó, có thể đề xuất lựa chọn cho 2 tỷ lệ phối trộn này khi sử dụng xỉ thay thế cát trong xây dựng, đảm bảo khả năng thoát nước tốt như cọc cát.

3.3 Kết quả cường độ kháng nén 1 trục nở hông (q_u, kG/cm^2)

- Trong quá trình thí nghiệm nén 1 trục nở hông, độ biến dạng được biểu diễn theo tốc độ 1%/1 phút tương đương 1mm/1 phút. Vì vậy, cường độ kháng nén của mẫu tăng theo độ biến dạng trong giai đoạn tiến hành phá hủy và đạt giá trị cao nhất trước khi giảm xuống trong giai đoạn sau phá hủy (ASTM D2166 / D2166M, 2016).

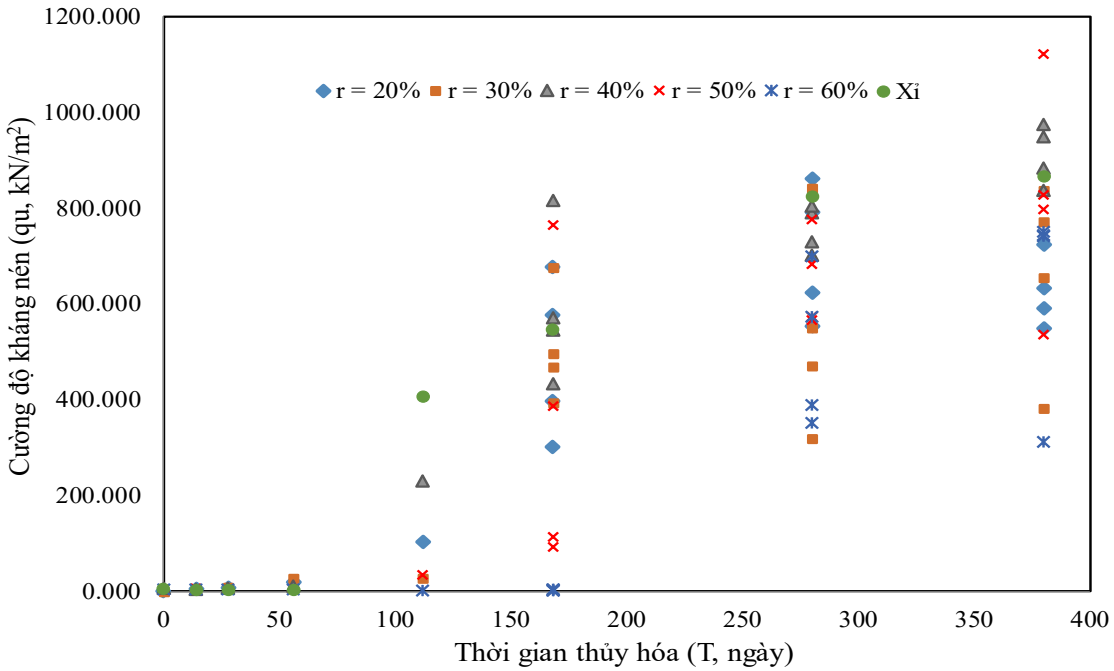
- Kết quả thí nghiệm nén 1 trục nở hông đối với 5 cấp phối mẫu thủy hóa ở các mốc thời gian 0 ngày, 14 ngày, 28 ngày, 56 ngày, 112 ngày, 168 ngày, 280 ngày và 380 ngày trong môi trường nước ở điều kiện nhiệt độ ngoài trời được trình bày ở Bảng 5 và Hình 12.

- Từ Bảng 5 và Hình 12 cho thấy cường độ kháng nén nở hông trung bình q_u *(kPa)* của các mẫu thí nghiệm tăng dần theo thời gian thủy hóa (ngày/đêm) và biểu đồ có xu hướng tiếp tục gia tăng, đặc biệt mẫu có tỷ lệ phối trộn (r = 40 đến 50%) khi bị thủy hóa sau thời gian 168 ngày cho kết quả q_u cao nhất và đến 1 năm có thể đạt q_u ~ 1000 kN/m^2 mà không cần bất kỳ phụ nào khác.

Kết quả thí nghiệm trên hoàn toàn phù hợp với kết quả nghiên cứu của Matsuda và cộng sự (2015 và 2016) chỉ ra rằng thành phần hóa học cơ bản của GBFS gồm CaO, SiO_2, Al_2O_3 và MgO nên khi tiếp xúc với môi trường ẩm tự nhiên, GBFS và GBFS phối trộn cát dễ dàng thủy hóa. Hợp chất thủy hóa đóng vai trò như xi măng gắn kết các hạt xỉ và vật liệu, giúp hình thành và tăng dần cường độ của BGFS và GBFS phối trộn cát theo thời gian mà không cần phụ gia (Hiroshi Matsuda, Tran Thanh Nhan, 2016).

Bảng 5. *Bảng số liệu thí nghiệm nén 1 trục nở hông trung bình*

Tên mẫu		BT 1,2	BT 3,4	BT 5,6	BT 7,8,9	BT 10,11, 12,13	BT 14,15, 16,17	BT 18,19, 20,21	BT 22, 23, 24,25
T/gian thủy hóa (ngày)		0	14	28	56	112	168	280	380
Số lượng mẫu		2	2	2	3	4	4	4	4
Xỉ	qu TB, kN/m^2	5,521	4,535	3,779	4,976	407,983	547,549	824,341	866,754
r = 20%		2,041	5,538	8,301	2,066	104,892	489,924	625,39	708,384
r = 30%		1,054	5,183	9,407	2,826	29,336	510,104	546,494	661,916
r = 40%		6,879	6,147	8,028	12662	231,586	590,889	757,48	911,733
r = 50%		4,106	6,731	5,035	4,974	36,112	340,433	651,256	821,743
r = 60%		4,446	4,044	5,217	4,628	3,699	4,46	504,42	716,673

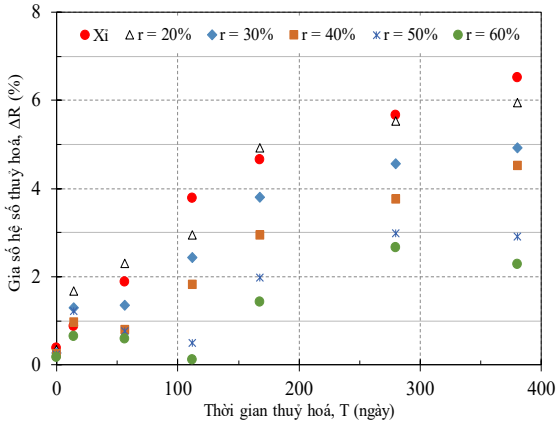


Hình 12. Đồ thị biểu diễn kết quả cường độ kháng nén một trục nở hông q_u (kN/m²)

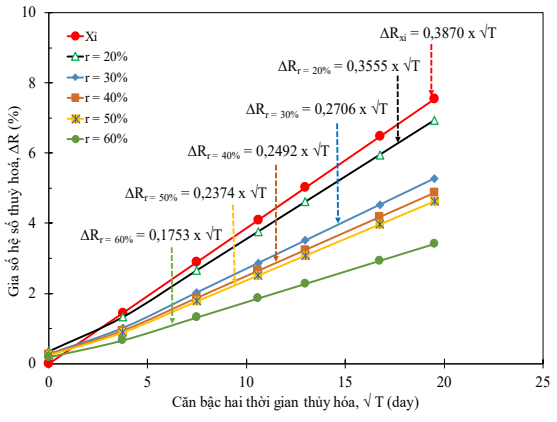
3.4 Dự báo tốc độ thủy hóa

Tốc độ thuỷ hóa được thể hiện bằng hệ số thủy hóa R, %. Kết quả thí nghiệm cho thấy R có xu hướng tăng theo thời gian thủy hóa. Khi thời gian thủy hóa đạt đến 112 ngày trở đi thì R bắt đầu tăng nhanh và khá đều hơn theo các mốc thời gian và đạt đến giá trị R = 6,3 - 6,9%. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với kết quả nghiên cứu của T.T.Nhàn; Matsuda và cộng sự là R của xỉ hạt lò cao Formosa tăng gần như tuyến tính với thời gian thủy hóa (Hình 13, 14).

Hình 13, 14 cho thấy tốc độ thủy hóa tăng nhanh hơn trong thời gian đầu (từ tháng thứ 2 đến tháng thứ 5) nhưng khi thời gian thủy hóa càng lâu thì tốc độ thủy hóa chậm dần. Điều đó có thể khẳng định quan hệ tuyến tính giữa (△R, %) và (T, ngày) của xỉ hạt lò cao và quan hệ này không phụ thuộc vào thời gian thủy hóa.



Hình 13. Quan hệ giữa (ΔR, %) với theo tg thuỷ hóa (T, ngày)



Hình 14. Quan hệ giữa (ΔR, %) và căn bậc hai tg (√T, ngày)

4. Kết luận và kiến nghị

4.1 Kết luận

- Kết quả phân tích thành phần hạt cho thấy hầu hết các mẫu phối trộn đều cải thiện tốt về độ phù hợp cấp phối hạt và đều đã đạt đủ yêu cầu cho cốt liệu nhỏ của bê tông (TCVN 7570:2006).

- Biến đổi dung trọng khô (ρd, g/cm^3) theo độ ẩm của thí nghiệm đầm chặt tiêu chuẩn (TCN 334:2006) cho thấy dung trọng khô của mẫu xỉ - cát theo các tỉ lệ phối trộn ít phụ thuộc vào độ ẩm nên dễ dàng thi công ở hiện trường hơn so với cát tự nhiên. Nếu thay 1 phần cát tự nhiên bằng vật liệu xỉ thì hỗn hợp mới sẽ nhẹ hơn, thoát nước tốt hơn. Khi tỷ lệ phối trộn cát càng cao thì đường cong đầm chặt mẫu xỉ cát càng tiệm cận với đường cong đầm chặt của cát. Đây là ưu điểm nổi bật khi sử dụng xỉ cát làm vật liệu san lấp, nền đất đắp cho các công trình giao thông.

- Ảnh hưởng của đặc tính thủy hóa đến tính thấm và cường độ kháng nén 1 trục của các mẫu phối trộn cho thấy mẫu càng bị thủy hóa (hệ số thủy hóa càng cao) thì cường độ kháng nén càng lớn. Đây là một trong những chìa khóa quan trọng nhất khi nghiên cứu sử dụng vật liệu xỉ làm cốt liệu trong xây dựng (vật liệu san lấp - đắp nền đường giao thông, nền đắp sau công trình chắn sóng biển, vật liệu cải tạo nền đất yếu bằng phương pháp cọc cát,…)

- Kết quả thí nghiệm về cường độ kháng nén và tính thấm của mẫu phối trộn khi thời gian thủy hóa > 168 ngày cho kết quả đảm bảo điều kiện tính thấm (k = 10^{-3} cm/s) theo TCVN 11713:2017 cũng như về cường độ kháng nén 1 trục rất tốt (q_u ~ 1000 kN/m^2) mà không cần phụ gia.

- Độ thủy hóa tăng nhanh hơn trong thời gian đầu (từ tháng thứ 2 đến tháng thứ 5) nhưng khi thời gian thủy hóa càng lâu thì tốc độ thủy hóa chậm dần. Điều đó có thể khẳng định quan hệ tuyến tính giữa (ΔR, %) và (T, ngày) của xỉ hạt lò cao và quan hệ này không phụ thuộc vào thời gian thủy hóa.

- Từ các kết quả thí nghiệm cho thấy mẫu có tỷ lệ phối trộn r = 40% và r = 50% đảm bảo điều kiện về tính thấm (K = 10^{-3}m/s) cũng như về cường độ kháng nén 1 trục rất tốt (q_u = 824,341 kN/m^2) khi thời gian thủy hóa đạt > 168 ngày.

4.2 Kiến nghị

- Tiếp tục nghiên cứu một cách có hệ thống các chỉ tiêu cơ lý và thành phần hóa của hỗn hợp mẫu phối trộn xỉ - cát trong điều kiện thủy hóa ở các môi trường khác nhau nhằm tận dụng được nguồn thải của quá trình luyện gang, bên cạnh đó góp phần thay thế nguồn vật liệu xây dựng cát đang ngày càng cạn kiệt.

Tài liệu tham khảo

ASTM D2166/D2166M, (2016). "Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil standard".

Bộ Xây dựng. (2017). Quyết định số 430/QĐ-BXD: "Chỉ dẫn kỹ thuật xỉ gang và xỉ thép sử dụng làm vật liệu xây dựng". Hà Nội, 26 trang.

Bộ Khoa học và Công nghệ (2017). TCVN 11713:2017: Gia cố nền đất yếu bằng giếng cát - Thi công và nghiệm thu. Hà Nội, 2017.

Hiroshi Matsuda, Tran Thanh Nhan (2016). Shear strength and permeability of Granulated blast furnace slag mixed with marine sand from low to hight mixing ratio. *The 3rd International Conference on Geological and Geotechnical Engineering in Response to Climate Change and Sustainable Development of Infrastructure (VIETGEO 2016)*. ISBN:978-604-62-6726-3.

Châu Long (2017). "Sử dụng xỉ gang và xỉ thép làm vật liệu xây dựng". *Tạp chí Môi trường*. http://www.tapchimoitruong.vn/phat-trien-ben-vung-24/Su-dung-xi-gang-va-xi-thep-lam-vat-lieu-xay-dung-20072 (truy cập ngày 28/03/2021).

Nguyễn Thị Thanh Nhàn, "Nghiên cứu phối trộn xỉ lò cao với cát tự nhiên làm vật liệu cải tạo nền đất bằng phương pháp cọc cát", *Đề tài Khoa học và Công nghệ cấp Đại học Huế, mã số DHH2021 - 01 - 185*.

Quyết định số 145/2007/QĐ-TTg ngày 4/9/2007 của Thủ tướng Chính phủ về việc "Phê duyệt quy hoạch phát triển ngành thép Việt Nam giai đoạn 2007 - 2015, có xét đến năm 2025".

TCVN 2683:2012 - Đất xây dựng - Lấy mẫu, bao gói, vận chuyển và bảo quản mẫu.

A guide to the use of iron and steel slag in roads (2011), Available at *http://www.asa-inc.org.au/knowledge/technical-literature/technical-guides.*

Báo Hà Tĩnh (2019). Nghiên cứu sự biến đổi tính chất cơ lý hóa của xỉ hạt lò cao tại Hà Tĩnh. *https://baohatinh.vn/khoa-hoc/nghien-cuu-su-bien-doi-tinh-chat-co-ly-hoa-cua-xi-hat-lo-cao-tai-ha tinh/169927.htm* (truy cập ngày 05/04/2021).

Proposal for the mixing ratio of blast furnace slag with sand as a substitute material for sand in construction

Nguyen Thi Thanh Nhan*, Tran Thanh Nhan, Tran Thi Ngoc Quynh, Do Quang Thien

University of Science, Hue University

**Corresponding author: nttnhan@hueuni.edu.vn*

Abstract

The article presents the research results on some physical and mechanical properties of a mixture of blast furnace slag with sand, such as the particle size distribution of the mixed blend, density, the values of void ratios emax, emin, and changes in dry density according to moisture content, etc. The results show that most of the mixed samples significantly improve the particle size distribution and meet the requirements for fine aggregates in concrete according to TCVN 7570:2006. The research results on compressive strength and permeability indicate that for samples with a mixing ratio of r = 40% to r = 50%, after a hydration period of more than 168 days, the results ensure the permeability condition ($k = 10^{-3}$ cm/s) according to TCVN 11713:2017, as well as very good uniaxial compressive strength ($q_u \sim 1000$ kN/m^2) without the need for additives. This provides a scientific basis for the initial study of replacing sand with slag at two mixing ratios (r = 40% and r = 50%) after a hydration period of more than 168 days, which is entirely reasonable and meets construction needs given the increasingly severe shortage of sand materials.

Keywords: Mixing ratio, blast furnace slag, sand substitute material.

THEORETICAL DEVELOPMENT OF AN ADAPTIVE RISK ASSESSMENT MODEL FOR LARGE-SCALE INFRASTRUCTURE PROJECTS: A CASE STUDY OF THE MEKONG DELTA, VIETNAM

Minh-Huy Vo[1,*], Jyh-Bin Yang[2]
[1]Tra Vinh University, Vietnam.
[2]National Central University, Taiwan.
**Corresponding author: Email: minhhuymb@gmail.com*

Abstract

Infrastructure projects are vital to environmental sustainability, socioeconomic development, and overall societal well-being. Effective project risk management (RM) is closely linked to project success. Currently, infrastructure projects in the Mekong Delta face significant challenges, including schedule delays, cost overruns, and substandard quality. Although numerous risk assessment (RA) models have been developed, they are frequently ill-suited for large-scale infrastructure projects (LSIPs) in environmentally sensitive areas. This study develops, at a theoretical level, an adaptive RA model for LSIPs (ARAM-LSIPs), drawing on conceptually empirical research conducted on infrastructure projects in the Mekong Delta, with EPC-WWTP and highway projects serving as representative case contexts. The proposed generic RA framework consists of four key phases: (1) Initial Risk Identification, (2) Data Collection and Qualitative Analysis, (3) Quantitative Risk Analysis, and (4) Model Validation. The findings contribute not only to advancing understanding of risk identification and assessment grounded in stakeholder perceptions but also to establishing a theoretically comprehensive, systematic, and adaptive RA model. Notably, the validated process offers a robust and flexible foundation for further assessing project risks in the Mekong Delta and comparable contexts. As the scope of this study primarily emphasizes theoretical framework development, quantitative investigations will be addressed in future studies following the completion of data collection and analysis from representative projects.

***Keywords**:* Risk factors, RA, ARAM-LSIPs, Mekong Delta, and stakeholder perceptions.

1. Introduction

Infrastructure projects, such as highways, railways, airports, power and energy developments, are prime examples of LSIPs that are critical to environmental sustainability, socioeconomic growth, and overall societal well-being. However, Vietnamese construction projects often encounter budget overruns, timetable delays, and failures to achieve quality standards (Le, Chong et al., 2020, Hai and Thuy, 2022, Ulhaq, Maqsood et al., 2023). Previous studies have demonstrated a strong and positive correlation between RM and project success (Nawaz, Waqar et al., 2019, Bachari, 2025). Research interest in RM has notably increased in Vietnam (Le, Chong et al., 2020, Le, Chileshe et al., 2020, Le, 2022, Nguyen and Macchion, 2023, Nguyen, Nguyen et al., 2023). These studies provide valuable insights that enhance awareness among project managers and stakeholders regarding potential risks from diverse perspectives, ultimately aiming to mitigate risks and improve project outcomes. Their findings support the adoption of appropriate RA methodologies and the development of timely and effective risk response strategies.

Wastewater treatment plant (WWTP) projects notably improve wastewater management, reduce pollution from industrial and agricultural sources, and promote climate-resilient development, especially in regions like the Mekong Delta (Mihelcic, Naughton et al., 2017, Bassin, Castro et al., 2021). WWTPs play a substantial role in sector coupling, offering important interconnections across various fields (Schäfer, Gretzschel et al., 2020). Similarly, the development of highway infrastructure enhances economic integration and national transportation

efficiency. Furthermore, highways contribute significantly to economic growth, social stability, national defense, security, and sustainable regional development (Pham, Nuong et al., 2024, Pham, Nuong et al., 2024).

Despite their significance, empirical research focused specifically on infrastructure projects in the Mekong Delta remains limited. Particularly, there is a lack of comprehensive studies exploring innovative and adaptive RA approaches tailored to diverse infrastructure project types. This gap highlights a pressing need for further investigation. Unlike other regions, infrastructure development in the Mekong Delta exhibits sui generis characteristics that require dedicated attention to improve project performance and ensure successful implementation.

Challenges in this region are further exacerbated by material shortages, soft ground conditions, rising sea levels, saline water intrusion, and other potential factors strongly influenced by global climate change (Rogozhina, 2022, Park, 2024). Notably, the unique geotechnical conditions of the Mekong Delta, characterized by extremely soft ground, subsidence risks, and hydrological variability, are critical determinants in shaping the appropriate selection and development of an ARAM. Consequently, LSIPs in the Mekong Delta are frequently subject to numerous risk factors that significantly affect key project parameters. Although RM practices have evolved considerably over recent decades and have garnered attention for improving time and cost performance, an adaptive RA methodology specifically suited to this context remains underdeveloped. Practitioners often rely on traditional or only moderately innovative approaches that typically lack robust model validation processes. These limitations hinder comprehensive RM and reduce the effectiveness of RA in environmentally and technically complex settings like the Mekong Delta.

This study develops an adaptive risk assessment model for large-scale infrastructure projects (ARAM-LSIPs) at a theoretical level, drawing on conceptually empirical research on infrastructure developments in the Mekong Delta, using WWTP and highway projects as potential representative cases. The generic proposed framework consists of four key phases: (1) Initial Risk Identification, (2) Data Collection and Qualitative Analysis, (3) Quantitative Risk Analysis, and (4) Model Validation, ensuring a theoretically comprehensive and systematic process for advancing an RA model tailored to LSIPs.

2. Literature Review

2.1 Risk Management Process

Project RM, recognized as a complex and critical area within project management, is essential at the portfolio, program, and project levels (PMI, 2021). Numerous studies have highlighted that RM is an iterative and dynamic process that should be systematically implemented throughout the entire project life cycle (PLC), including several key steps, such as RM planning, identification, assessment, response, and control (PMI, 2017, Barghi and Shadrokh Sikari, 2020). These foundational steps underpin effective RM and continue to warrant scholarly attention (Kifokeris and Xenidis, 2019). A comprehensive RM processes enable practitioners to manage project risks systematically and effectively. The primary objectives of RM are to capitalize on the probability and/or impact of opportunities (positive risks) and to mitigate the likelihood and/or consequences of threats (negative risks), thereby enhancing the probability of achieving optimal project performance (PMI, 2017).

This study academically places particular emphasis on the first two stages, risk identification and assessment, which are critical for the overall effectiveness of RM. The remaining processes vary depending on project type and context, and are typically implemented only after the initial stages have been completed successfully. While existing RM standards and frameworks provide guidance for refining various RM phases (Axelos and Office, 2017, Standardization, 2018), a thorough understanding of these foundational steps is essential for practitioners seeking to manage project risks in a more structured and effective manner.

2.2 Risk Assessment Techniques in Different Infrastructure Contexts

In recent years, LSIPs have increasingly adopted the engineering, procurement, and construction (EPC) delivery mode (Qianqing and Yiqing, 2023, Bachari, 2025). This approach offers benefits, including cost savings and streamlined implementation, by integrating design, procurement, and construction into a single contract. A range of qualitative, quantitative, and mixed-method approaches have been used in risk analysis. For instance, a three-stage approach comprising risk identification, assessment, and evaluation has been used to support decision-making and response strategies (Bachari, 2025).

Statistical tools, including SPSS and AMOS software, have been applied for risk evaluation and control in Vietnamese EPC hydropower construction projects (Sy Hung, Jian Qiong et al., 2016). In similar contexts, risk-ranking techniques have been used to identify key risks in Pakistani EPC projects (Ayub, Ullah et al., 2016), while the Analytical Network Process (ANP) model has also been employed in Iranian gas refinery EPC projects, accounting for risk probability, impact, feedback loops, and interdependencies (Rezavalipour, Sarvari et al., 2013). Although various RA frameworks exist in the literature, many are ill-suited for EPC-WWTP projects located in environmentally sensitive and vulnerable regions. There is a clear need to develop an adaptive, systematic, and comprehensive RA model capable of improving the RA effectiveness in EPC project delivery.

Highway projects pose even greater risk challenges (Vu, Cu et al., 2017, Nagalla, Dendukuri et al., 2018). Techniques such as the AHP have been widely applied to assess risk in Chinese highway projects (Zayed, Amer et al., 2008). In the United States, surveys examining risk factors across various delivery methods have revealed substantial variations in risk impacts (Tran and Molenaar, 2012). The ANP model has been used for large-scale transportation projects in Europe and the Middle East (Yucelgazi and Yitmen, 2019), as well as in Iranian freeway public-private partnership (PPP) projects (Noor, Yahaya et al., 2015). In northern Vietnam, structural equation modeling (SEM) has been used to evaluate schedule delay risk factors in international highway projects, incorporating stakeholder and environmental variables through survey data (Vu, Cu et al., 2017). Notably, the Fuzzy Synthetic Evaluation approach has been intensively applied in RA for PPP projects and other project types (Xu, Yeung et al., 2010, Ameyaw and Chan, 2015, Rezaeenour, Mousavi-Saleh et al., 2018, Zafar, Wuni et al., 2019, Nguyen and Macchion, 2023). While fuzzy-based methods are effective in handling uncertainty, vagueness, and subjectivity in expert judgment, conventional RA models, particularly those based on the FSE approach, often rely on uniform, one-size-fits-all frameworks. These models tend to overlook stakeholder-specific perspectives and fail to capture differentiated risk perceptions, which are especially critical in infrastructure projects involving both public and private actors.

A major limitation of existing RA frameworks is the absence of robust validation mechanisms. Many models rely heavily on subjective expert judgment to assess risk frequency and severity without sufficient cross-validation or empirical testing. This reliance increases the potential for bias and diminishes the reliability and transferability of the models across different project types and geographical contexts.

To address these shortcomings, this study proposes a conceptual framework that incorporates theoretical and empirical case studies, expert insights, and stakeholder perspectives into an adaptive and flexible RA process. Key features of the proposed approach include: (1) context-specific risk categorization for EPC and highway projects; (2) mixed-methods integration to improve the robustness of RA; (3) stakeholder-inclusive analysis to capture differing risk priorities; and (4) robust validation mechanisms to reduce bias and enhance reliability.

3. Model Development

This study adopts a conceptually structured four-phase model development process to systematically construct an ARAM-LSIPs, as illustrated in Figure 1.

The research methodology aligns with the PMBOK@ Sixth Edition (PMI, 2017), which is favored over the Seventh Edition (PMI, 2021) due to its structured division of knowledge areas and its explicit delineation of the PLC, where RM is a crucial component. Additionally, the Sixth Edition emphasizes risk identification and assessment as primary stages influencing subsequent RM phases. The PLC, comprising initiating, planning, executing, monitoring & controlling, and closing, is more applicable to infrastructure projects than the principle-driven framework of the Seventh Edition.

The model integrates both qualitative and quantitative methods to meet the research objectives, enhancing the accuracy and relevance of risk identification, analysis, and validation.

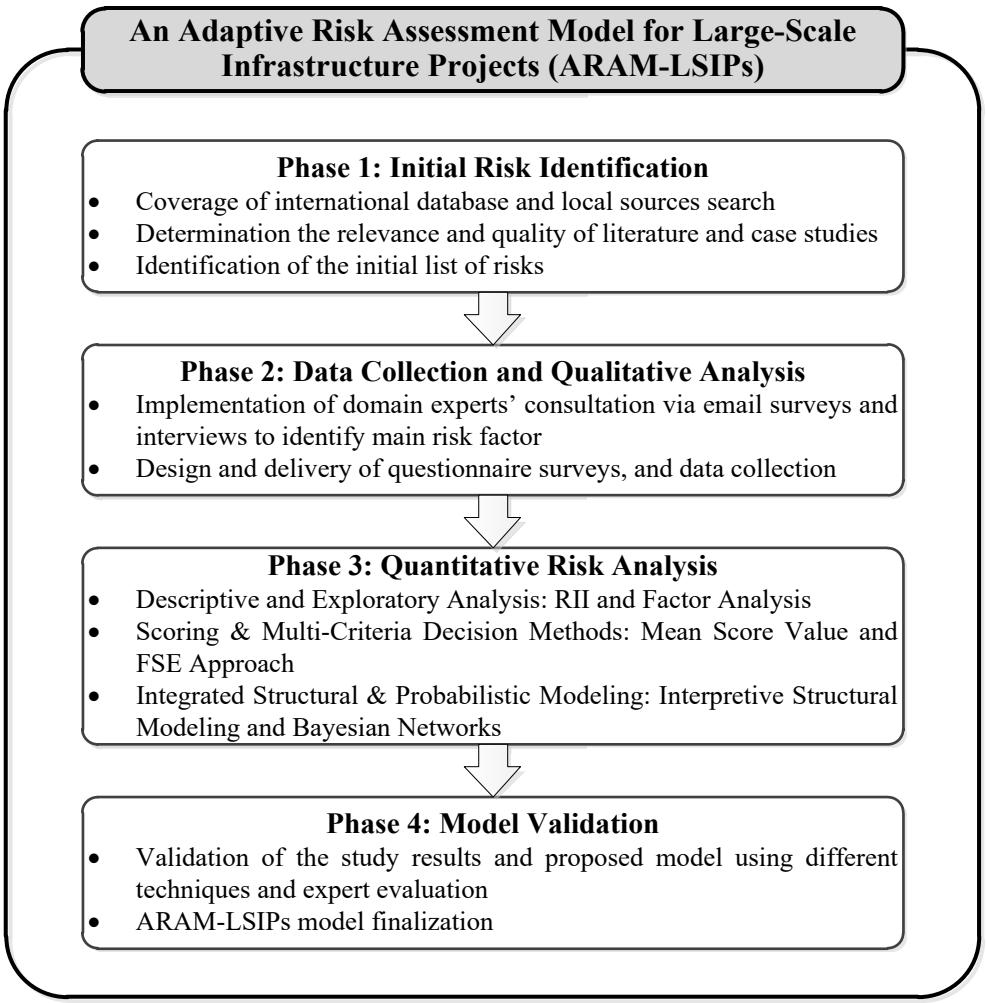


Figure 1. An adaptive risk assessment model for large-scale infrastructure projects.

3.1 Phase 1: Initial Risk Identification

The model development begins with an in-depth literature review, drawing from both relevant international databases and local sources to understand the current risk landscape. This phase culminates in the development of a preliminary list of risk factors relevant to infrastructure project types in the Mekong Delta region.

3.2 Phase 2: Data Collection and Qualitative Analysis

Building on the initial risk identification, this phase involves consultations with domain experts through email surveys and/or interviews. These engagements aim to refine the risk list, ensuring its accuracy, contextual relevance, and practical effectiveness of the identified risk factors.

Once the final potential list of risk factors was determined, a structured questionnaire survey was designed and subjected to a pilot test to identify and resolve any ambiguities and inconsistencies. Feedback from experts was incorporated to refine the final version of the questionnaire. The survey, administered via platforms such as Google Forms, Lime Survey, SurveyMonkey, or directly transferred hard copy, was then distributed to targeted participants to gather expert judgments on the identified risks, focusing primarily on the frequency of occurrence and severity of impact. The collected data were meticulously reviewed using appropriate tools and techniques to eliminate duplicates, incomplete responses, and inconsistencies.

An adequate combination of random and purposive sampling methods is used to ensure that respondents have substantial practical experience and domain-specific expertise. An adequate sample size is essential for robust statistical analysis. Theoretical guidelines recommend a minimum sample-to-item ratio of 5:1, with higher ratios preferred for reliable statistical analysis (Hair, Babin et al., 2019). However, the final sample size is determined by multiple factors, such as the study's approach, analytical method, number of observed variables, model complexity, available resources, prior studies, and established statistical guidelines (Memon, Ting et al., 2020). Moreover, existing evidence suggests that the minimum observation-to-variable ratio does not materially affect factor stability (Barrett and Kline, 1981). Within the context of regional infrastructure projects and available participants, a minimum threshold for sample size should be met to ensure statistically reliable results.

3.3 Phase 3: Quantitative Risk Analysis

The study employs both quantitative and qualitative methods to process and analyze the impacts of risk factors on infrastructure projects. For EPC projects, methods such as the Relative Importance Index and Factor Analysis are used to quantify, rank, and group risk factors. In contrast, for highway projects, the Mean Score (MS) method and the FSE approach are applied to assess risk impact levels from different stakeholder perspectives.

3.3.1 Relative Importance Index and Factor Analysis Methods

3.3.1.1 Relative Importance Index

The Relative Importance Index (RII) is widely used to quantify risk factors influencing project objectives (Aziz, 2013, Kassem, Khoiry et al., 2020, Le, Chong et al., 2020). It ranks risk drivers by assessing how frequently, severely, and critically they influence project performance.

The Frequency Index (FI) measures how likely each risk is to occur, calculated as Equation (1), where a_i represents the weight assigned to each response (0-4), m_i is the response frequency, and N is the total number of responses.

$$FI=\frac{\sum_{0}^{4} a_i \times m_i}{4N} \quad (1)$$

The Severity Index (SI) assesses the potential impact of each risk using a similar formula, Equation (2), where b_i is the impact weight for each response, n_i is the response frequency, and N is the total number of responses.

$$SI=\frac{\sum_{0}^{4} b_i \times n_i}{4N} \quad (2)$$

The RII, determining the relative importance, is derived from Equation (3).

$$RII = FI \times SI \quad (3)$$

3.3.1.2 Factor Analysis

This approach is employed to investigate the interrelationships of the survey items collected via questionnaires or interviews. It reorganizes crucial information from the primary data while reducing redundant variables (Ajmal, Malik et al., 2017). The underlying assumption is that the latent dimensions or factors can be employed to interpret complex phenomena. Generally, the model for the *i*th standardized variable is expressed as Equation (4) (Xu, Yeung et al., 2010).

$$X_i = A_{i1}F_1 + A_{i2}F_2 + ... + A_{ik}F_k + U_i \quad (4)$$

Where F represents the common factor, U denotes a unique factor, and A is a coefficient used to combine the k factors.

Exploratory factor analysis (EFA) is particularly well-suited for identifying underlying patterns in complex, multidimensional data and summarizing them into a smaller set of factors or components (Hair, Babin et al., 2019). Particularly, five sequential steps provide a reference for developing clear decision pathways in EFA (Williams, Onsman et al., 2012):

- Step 1: Identify data suitable for factor analysis;
- Step 2: Choose the appropriate factor extraction method,
- Step 3: Determine the proper criteria for factor extraction,
- Step 4: Select an appropriate rotation method, and
- Step 5: Interpret and label the extracted factors meaningfully.

Additionally, the model fit was assessed using the Root Mean Square of Approximation (RMSEA), with an acceptable fit indicated by a value of less than 0.08 (Kenny and McCoach, 2003). This process underscores the effectiveness of the method in identifying and restructuring risk factors.

3.3.2 Mean Score Value and Fuzzy Synthetic Evaluation Approaches

3.3.2.1. Mean Score Value

The MS method, widely used in various fields, calculates the relative importance of different indices or criteria (Ameyaw and Chan, 2015, Nguyen and Macchion, 2023). In this research, two attributes - frequency of occurrence and severity of impact - are calculated separately to obtain their mean scores. The impact of each risk factor is determined by taking the square root of the product of the frequency and severity mean scores, thereby facilitating the ranking of risk drivers based on stakeholder perceptions.

3.3.2.2 Fuzzy Synthetic Evaluation Approach

The FSE approach, a branch of fuzzy set theory originally proposed by Zadeh, (1965), enables the manipulation of "fuzzy" terms using degrees of membership functions (MFs) rather than strict true/false values. A membership degree can assume any value within the closed interval between 0 and 1, defining the extent to which an element belongs to a fuzzy set (Tah and Carr, 2000). Designed to handle complex problems with multiple layers of variables or criteria, the FSE method is commonly used in multi-criteria decision-making processes, especially where conflicting aspects exist (Bhattacharya, Aziz et al., 2024, Nguyen and Nguyen, 2024).

In this study, the FSE technique is purposely adopted to derive critical risk components from a group of individual risk factors and to determine the overall project risk level by combining several risk components. Given the subjective, ambiguous, and uncertain nature of construction risk factors, frequently based on expert experience and survey responses, the FSE approach is well-suited to address these challenges. Previous studies have applied FSE to assess synthetic risk across multiple factors or attributes in a fuzzy decision environment (Xu, Yeung et al., 2010, Gashaw and Jilcha, 2022, Nguyen and Macchion, 2023). However, empirical studies incorporating multiple stakeholder perceptions into the FSE approach remain understudied.

This research employs the original FSE approach to develop an integrated RA model that captures different stakeholder perspectives in evaluating critical risk factors (CRFs), primary risk groups (PRGs), and overall risk levels (ORLs) in highway projects. The detailed FSE protocol evaluation procedure was adopted from several existing studies (Xu, Yeung et al., 2010, Ameyaw and Chan, 2015, Zafar, Wuni et al., 2019, Nguyen and Nguyen, 2024), as shown in Figure 2.

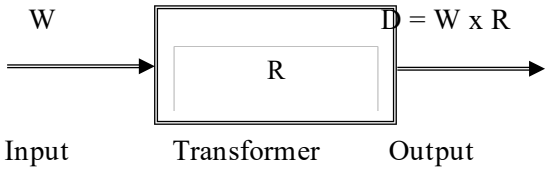


Figure 2. The process of fuzzy synthetic evaluation

3.3.3 *Interpretive Structural Modeling and Bayesian Networks*

This combined technique can be used to estimate the potential impacts of risks on schedule delays and cost overruns in both WWTP and highway projects. Interpretive Structural Modeling (ISM) is employed to establish hierarchical and logical interrelationships among complex risk factors, while Bayesian Networks (BNs) are used to integrate this structural analysis with conditional probability evaluation. Together, these methods offer a highly effective approach for conducting quantitative risk analysis.

3.3.3.1 Interpretive Structural Modeling

Interpretive Structural Modeling (ISM) approach, initially introduced by John Warfield in 1973, was developed to establish hierarchical interrelationships within complex systems, especially for decision-making in intricate problems (Warfield, 1973). ISM decomposes complex systems into smaller, more manageable components, facilitating the construction of a hierarchical model that provides insights into complicated situations and supports strategy prioritization (Zekhnini, Anass et al., 2022). The approach uses pairwise comparisons based on expert judgment to analyze interrelationships and presents the results through structural models or digraphs, typically generated using specialized software (Sajid, Khan et al., 2017).

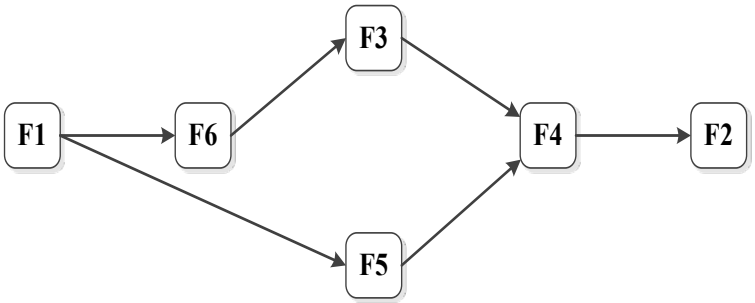


Figure 3. The ISM model with six critical risk factors

The method follows a structured sequence of steps, as synthesized from prior studies (He, Tang et al., 2021, Sorooshian, Tavana et al., 2023):

- Step 1: Identify the relevant risk factors
- Step 2: Develop contextual relationships among the factors
- Step 3: Construct the Structural Self-Interaction Matrix (SSIM)
- Step 4: Derive the Reachability Matrix (RM) from the SSIM
- Step 5: Partition the RM into different levels
- Step 6: Develop the conical matrix
- Step 7: Draw the directed graph (digraph)
- Step 8: Formulate and interpret the ISM model

In this study, the ISM is applied to establish hierarchical and logical interrelationships among

complex risk factors. This technique helps bridge the research gap caused by a lack of empirical studies on quantitative risk analysis for region-specific LSIPs, especially in the Mekong Delta. Figure 3 presents an illustrative ISM model incorporating six critical risk factors.

3.3.3.2 Bayesian Networks

Bayesian Networks (BNs) are graphical models with two primary components: structure and parameters. The structure qualitatively represents relationships between variables in a directed acyclic graph (DAG), while the parameters quantitatively define the strengths of these relationships using probabilities (Limao Zhang, Xianguo Wu et al., 2014). Constructing a BN involves defining both its hierarchical structure and corresponding parameters. Directed edges connect nodes representing causes to those representing consequences. Each node is associated with a Conditional Probability Table (CPT), which quantifies its probabilistic dependencies or with prior probabilities if the node has no parents.

The parameters of a BN, including prior probabilities for parent nodes and CPTs for child nodes, can be derived from various sources such as statistical data, literature, empirical observations, or expert judgment (Pitchforth and Mengersen, 2013).

The fundamental application of Bayes' theorem forms the basis of BN modeling, mathematically expressed in its general form (Jensen and Nielsen, 2007)

$$P(X_i|X_j) = \frac{P(X_j|X_i) * P(X_i)}{P(X_j)} \quad (5)$$

A comprehensive review emphasized both the advantages and challenges of Bayesian methods, concluding that these techniques are becoming increasingly prominent as the construction industry undergoes digital transformation and adopts data-driven practices (Mejía, Gutiérrez-Prada et al., 2024). Integrating Bayesian methods with advanced technologies and processes is anticipated to create new opportunities for enhanced decision-making, ultimately contributing to greater project success. The combined technique can be applied to estimate the potential impacts of risks on schedule delays and cost overruns in both WWTP and highway projects. Building on the previous ISM model, a BN survey and expert consultation are conducted and analyzed using the Delphi method and Knowledge Acquisition for Multiple Experts with Time (KAMET) principles to develop the BN model with parametric inputs, as illustrated in Figure 4.

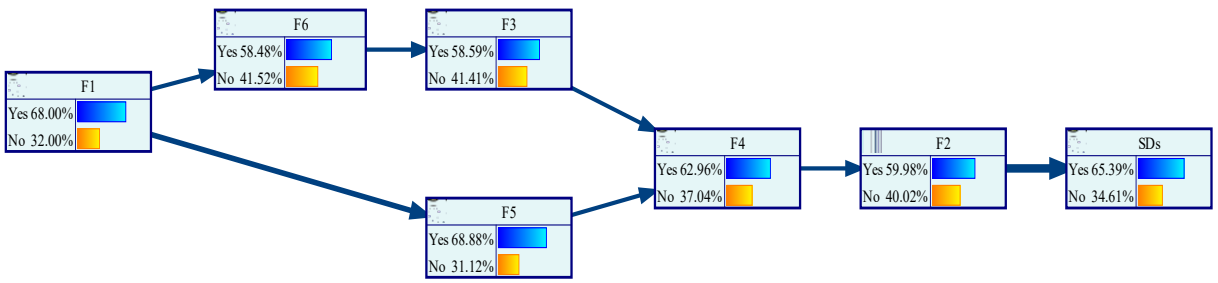


Figure 4. The BN model with parametric inputs

3.4 Phase 4: Model Validation

To ensure the robustness and reliability of the study outcomes, model validation is essential. However, many previous studies tend to overlook this phase after conducting surveys and performing statistical analyses (Kim, Tuan et al., 2016, Le, Chong et al., 2020, Le, 2022). Model validation is highly dependent on the analytical methods employed. Therefore, appropriate validation techniques should be selected based on the specific analysis approaches used. The following outlines recommended combinations of methods and their corresponding validation strategies:

3.4.1 Expert Judgment and Validation

The key findings and insights of this study are validated through expert judgment, which plays a critical role in ensuring the reliability, validity, and applicability of the research outcomes. Hallowell and Gambatese, (2010) demonstrated that expert validation improves risk analysis accuracy in construction engineering and management studies. While expert knowledge is invaluable, its usefulness depends on the rigor of the methods used to elicit it. Also, the responsibility for effectively using expert knowledge lies with the researcher (Drescher, Perera et al., 2013). Expert judgments can be considered scientific data when they adhere to principles such as accountability, neutrality, fairness, and empirical validation (Veen, Stoel et al., 2017, Colson and Cooke, 2018). Validating expert judgments involves confirming that these judgments accurately reflect the experts' beliefs and that those beliefs correspond to observed reality, achieved by comparing elicited judgments with empirical data whenever possible.

Expert judgment serves as a distinct and valuable data source, requiring specific procedures when used in structured risk analysis (van Steen, 1992). Different methods exist for validating expert judgment, including the classical model, weighted averaging, and the Delphi approach in conjunction with KAMET principles (van Steen, 1992, Chu and Hwang, 2008, Colson and Cooke, 2018).

In the study, domain experts are selected based on their practical experience, strong academic qualifications, subject-matter expertise, and peer recognition in the domain. Their judgments are used to validate the study's outcomes and support the development of the proposed RA model tailored to infrastructure projects in the Mekong Delta.

For EPC projects, expert input is gathered using a 5-point Likert scale via the Delphi method to confirm the validity of the risk factors identified through the survey. For highway projects, expert judgments on CRFs, in terms of the probability of occurrence and severity of impact, are recalculated and compared with the study's quantitative results to assess the credibility, consistency, and applicability of the findings. Additionally, the proposed RA model is evaluated and validated by the experts using a 5-point Likert Scale ranging from "Very Inappropriate" to "Extremely Appropriate". This evaluation focuses on the model's applicability to infrastructure projects in the Mekong Delta and its potential adaptability to similar regional contexts.

3.4.2 Focus Group Discussion

A focus group comprises domain experts who participate in structured discussions or interviews. Typically, a group of six to eight participants is considered sufficient; too few may limit the diversity of viewpoints, while too many can hinder effective management and consensus (Nyumba, Wilson et al., 2018). The approach can be utilized flexibly at different phases of a study. To steer the conversation and maintain participants' attention on the subject, a skilled facilitator is essential. By examining experts' opinions, perceptions, and assessments rooted in their expertise, experience, and knowledge, this method allows researchers to gain comprehensive insights. Therefore, carefully recruiting and selecting qualified experts is essential for producing robust findings.

This method supports interactive, real-time exchange and refinement of ideas, especially through online platforms (Çevikbaş, Okudan et al., 2022). In this study, an FGD is conducted for EPC projects to evaluate CRFs using the Delphi method and to validate the study's results. For highway projects, a panel of experts reassessed 22 CRFs and discussed the proposed RA model before providing their judgments on its applicability to infrastructure projects in the Mekong Delta, thereby enhancing the overall validation process.

3.4.3 Delphi Method and KAMET Principles

The Delphi technique is a widely used tool for reviewing and assessing project performance, and it has become increasingly popular in construction and project management research. Its

primary objective is to achieve a consensus among experts on complex issues where foundational knowledge and historical data are insufficient (Perera, Rameezdeen et al., 2014, Amies, Xiaohua et al., 2024). The method involves an iterative process in which multiple rounds of surveys are administered to experts to ensure the collection of unbiased, subjective opinions from individuals with extensive domain expertise.

Similar to interviews, FGDs, and nominal group techniques, selecting qualified professional experts is critical, followed by properly designing appropriate questions and carefully analyzing their responses. Moreover, the Delphi method yields flexible, reliable, and objective outcomes (Perera, Rameezdeen et al., 2014) and can be integrated with other methodologies and principles to achieve a high degree of consensus.

For EPC projects, the Delphi method and KAMET principles are employed to establish efficiency evaluation criteria through the following procedures (Nong, 2023):

- Step 1: Select a group of qualified experts based on the study objectives;

- Step 2: Distribute a survey questionnaire to each expert to collect their responses,

- Step 3: Analyze the responses using the KAMET principles and share the results with the group, and

- Step 4: Iteratively refine the responses by presenting feedback to the experts in subsequent rounds until a common consensus is reached.

3.4.4 Real-World Case Study and Expert Validation

This combined validation approach leverages real-world project scenarios to assess the practicality and applicability of the proposed model in predicting the likelihood of schedule delays or cost overruns, while supporting informed and proactive decision-making based on empirical evidence. On the one hand, real-world projects provide specific parameters related to delays and cost overruns. On the other hand, domain experts, who possess extensive knowledge of historical project data, practical experience, theoretical expertise, and familiarity with contextual conditions, offer their judgments to derive posterior probability distributions. Consequently, the study enhances risk analysis by proactively estimating the likelihood of delays or cost overruns resulting from potential risk impacts. Notably, expert validation of the proposed model further strengthens the reliability and applicability of the findings, offering a novel and effective solution to the current challenges faced in complex construction projects.

4. Model Application in Different Infrastructure Project Types

The core ARAM-LSIPs framework, comprising a theoretically structured four-phase approach, remains consistent across applications; however, specific steps may be refined, customized, or adapted depending on the characteristics of each real-world case study. To ensure practical relevance and gain real-world insights, the proposed RA model is applied to two types of infrastructure projects: EPC-WWTP and highway projects.

For EPC projects, a mixed-methods approach incorporating several key steps is employed. In contrast, highway projects are assessed using a multi-stage process, originally based on the FSE approach (as shown in Figure 1). This variation reflects the distinct nature of each project type, as infrastructure projects exhibit diverse characteristics and risk profiles throughout the PLC. Nevertheless, the key phases theoretically proposed in this study remain constant. Accordingly, a comprehensive RA approach must be adaptive, capable of processing large volumes of data from various stakeholders while accommodating subjective expert input. Furthermore, the application of tailored RA techniques within the quantitative framework for each project type provides practical and valuable outcomes. As such, validation techniques must be context-specific and are not universally transferable across all project types.

The model development introduces an innovative validation framework that is both adaptive

and comprehensive. This process is used to verify the study's outcomes and assess the reliability, adaptability, and practicality of the proposed model. By applying and validating the RA model across multiple infrastructure project types, the research not only demonstrates the model's robustness and adaptability but also reinforces its practical relevance and potential for broader international application in the context of LSIPs.

5. Concluding Remarks

LSIPs in the Mekong Delta are highly susceptible to risks, often resulting in schedule delays, cost overruns, and substandard quality. Despite the availability of various RA techniques, practical models tailored to the region's unique challenges remain limited, hindering effective RM. To address this gap, a robust and adaptive RA framework is needed, one developed through systematic literature review, expert consultations, empirical surveys, statistical analyses, and rigorous validation.

This study successfully proposed a theoretical ARAM-LSIPs, following a structured methodology aligned with established RA practices for LSIPs. The RA model comprises four fundamental phases: (1) Initial Risk Identification, (2) Data Collection and Qualitative Analysis, (3) Quantitative Risk Analysis, and (4) Model Validation. While real-world case studies may require further refinement or adaptation of certain steps, the core RA approach remains consistent for infrastructure projects in the Mekong Delta.

The model is conceptually applied and validated through representative case studies of EPC-WWTP and highway projects in the region, namely the *Wastewater Disposal in Provincial Towns Program in South Vietnam* and *Trung Luong – My Thuan highway,* to properly identify the primary risks and propose appropriate countermeasures. The study findings contribute not only to a deeper understanding of risk identification and assessment phases based on stakeholder perceptions but also to the development of a theoretically comprehensive, systematic, and adaptive RA model. Notably, the validated process offers a robust and flexible foundation for further assessing project risks in the Mekong Delta and similar contexts. While these theoretical applications offered valuable academic insights, further implementation across other project types or geographical settings will be necessary to fully confirm the model's adaptability and effectiveness.

Acknowledgment

This study is derived from my PhD thesis titled *"Development of an Adaptive Risk Assessment for Large-Scale Infrastructure Projects"*, conducted at the Department of Civil Engineering, National Central University, Taiwan, and completed in June 2025. As the author of the thesis, I have made necessary amendments and enhancements to adapt the original work for this conference paper, aiming to enrich its value and improve its overall quality.

References

Ajmal, M., M. Malik and H. Saber, (2017). "Factor Analyzing Project Management Practices in the United Arab Emirates." *International Journal of Managing Projects in Business*, 10(4), 749-769, doi: *10.1108/IJMPB-03-2017-0027.*

Ameyaw, E. E. and A. P. C. Chan, (2015). "Risk allocation in public-private partnership water supply projects in Ghana." *Construction Management and Economics*, 33(3), 187-208, doi: *10.1080/01446193.2015.1031148.*

Amies, P., J. Xiaohua and S. Senaratne, (2024). "Critical Success Factors Over Lifecycle of Dam Engineering Projects." *Engineering Management Journal*, 36(9), 1-15, doi: *10.1080/10429247.2024.2329866.*

Axelos and S. Office, (2017). Managing Successful Projects with PRINCE2, Stationery Office.

Ayub, B., F. Ullah, F. Rasheed and S. Sepasgozar, (2016). Risks In EPC Hydropower Projects: A Case Of Pakistan. 8th International Civil Engineering Congress (ICEC-2016), December 23-24, 2016, Karachi, Pakistan, NED University of Engineering and Technology.

Aziz, R. F., (2013). "Factors Causing Cost Variation for Constructing Wastewater Projects in Egypt." *Alexandria Engineering Journal*, 52(1), 51-66, doi: *10.1016/j.aej.2012.11.004.*

Bachari, M. I., M., (2025). "Project risk assessment: A holistic risk identification, analysis and evaluation approach, The case of EPC projects." *Journal of Project Management (Canada)*, 14(2), 283-300.

Barghi, B. and S. Shadrokh Sikari, (2020). "Qualitative and quantitative project risk assessment using a hybrid PMBOK model developed under uncertainty conditions." *Heliyon*, 6(1), e03097, doi: *10.1016/j.heliyon.2019.e03097.*

Barrett, P. T. and P. Kline, (1981). "The observation to variable ratio in factor analysis." *Personality Study & Group Behaviour*, 1(1), 23-33.

Bassin, J. P., F. D. Castro, R. R. Valério, E. P. Santiago, F. R. Lemos and I. D. Bassin, (2021). Chapter 16 - The impact of wastewater treatment plants on global climate change. Water Conservation in the Era of Global Climate Change. B. Thokchom, P. Qiu, P. Singh and P. K. Iyer, Elsevier**:** 367-410.

Bhattacharya, P., R. A. Aziz, C. L. Karmaker and A. B. M. M. Bari, (2024). "A fuzzy synthetic evaluation approach to assess the risks associated with municipal waste management: Implications for sustainability." *Green Technologies and Sustainability*, 2(2), 100087, doi: *10.1016/j.grets .2024.100087.*

Çevikbaş, M., O. Okudan and Z. Işık, (2022). "New Delay-Analysis Method Using Modified Schedule and Modified Updated Schedule for Construction Projects." *Journal of Construction Engineering and Management*, 148(11), 04022119, doi: *10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002394.*

Chu, H.-C. and G.-J. Hwang, (2008). "A Delphi-based Approach to Developing Expert Systems with the Cooperation of Multiple Experts." *Expert Systems with Applications*, 34(4), 2826-2840, doi: *10.1016/j.eswa.2007.05.034.*

Colson, A. R. and R. M. Cooke, (2018). "Expert elicitation: using the classical model to validate experts' judgments." *Review of Environmental Economics and Policy*, 12(1), 113-132, doi: *10.1093/reep/ rex022.*

Drescher, M., A. Perera, C. Johnson, L. Buse, C. Drew and M. Burgman, (2013). "Toward rigorous use of expert knowledge in ecological research." *Ecosphere*, 4(7), 1-26, doi: *10.1890/ES12-00415.1.*

Gashaw, T. and K. Jilcha, (2022). "Developing a fuzzy synthetic evaluation model for risk assessment: a case of Addis-Djibouti railway construction project." *Innovative Infrastructure Solutions*, 7(2), 154, doi: *10.1007/s41062-022-00753-8.*

Hai, D. and N. Thuy, (2022). "Evaluating Risk Management Perspectives of Parties in Construction Projects Funded by Vietnam Government's Budget." *The Open Construction & Building Technology Journal*, 16(1), 1-9, doi: *10.2174/18748368-v16-e221117-2022-11.*

Hair, J. F., B. J. Babin and R. E. Anderson, (2019). Multivariate Data Analysis. Hampshire, United Kingdom, Cengage Learning, EMEA.

He, L., T. Tang, Q. Hu, Q. Cai, Z. Li, S. Tang and Y. Wang, (2021). "Integration of Interpretive Structural Modeling with Fuzzy Bayesian Network for Risk Assessment of Tunnel Collapse." *Mathematical Problems in Engineering*, 2021, 1-14, doi: *10.1155/2021/7518284.*

Jensen, F. and T. Nielsen, (2007). Bayesian Network and Decision Graphs. Springer New York, NY., Springer New York, NY.

Kassem, M. A., M. A. Khoiry and N. Hamzah, (2020). "Using relative importance index method for developing risk map in oil and gas construction projects." *Jurnal Kejuruteraan*, 32(3), 441-453, doi: *10.17576/jkukm-2020-32(3)-09.*

Kenny, D. A. and D. B. McCoach, (2003). "Effect of the Number of Variables on Measures of Fit in Structural Equation Modeling." *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 10(3), 333-351, doi: *10.1207/S15328007SEM1003_1.*

Kifokeris, D. and Y. Xenidis, (2019). "Analysis of Impartial Implementation in Practice of Risk Identification in Technical Projects." *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering*, 5(3), 04019010, doi: *10.1061/AJRUA6.0001015.*

Kim, S.-Y., K. N. Tuan and V. T. Luu, (2016). "Delay Factor Analysis for Hospital Projects in Vietnam." *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20(2), 519-529, doi: *10.1007/s12205-015-0316-1.*

Le, N., O. Chong and K. Sullivan, (2020). "Construction Risks in Developing Countries: A Vietnam Case Study." *Journal for the Advancement of Performance Information and Value*, 12(1), 30 - 49, doi: *10.37265/japiv.v12i1.41.*

Le, P. T., (2022). Significance of Risks in Transportation Projects in Vietnam through Two Main Dimensions. 2022 7th National Scientific Conference on Applying New Technology in Green Buildings (ATiGB), Da Nang, Vietnam, IEEE.

Le, P. T., N. Chileshe, K. Kirytopoulos and R. Rameezdeen, (2020). "Investigating the Significance of Risks in BOT Transportation Projects in Vietnam." *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(6), 1401-1425, doi: *10.1108/ECAM-08-2019-0439.*

Limao Zhang, Xianguo Wu, Miroslaw J. Skibniewski and J. Zhong, (2014). Dynamic Risk Assessment in Construction Projects Using Bayesian Networks. Proceedings of the 31st International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining (ISARC). Sydney, Australia, IAARC Publications**:** 110-119.

Mejía, G., J. A. Gutiérrez-Prada, O. H. Portilla-Carreño and J. Soto-Paz, (2024). "Advantages and Limitations of Bayesian Approaches to Decision-Making in Construction Management: A Critical Review (1988–2023)." *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering*, 10(4), 03124002, doi: *10.1061/AJRUA6.RUENG-1363.*

Memon, M. A., H. Ting, J.-H. Cheah, R. Thurasamy, F. Chuah and T. H. Cham, (2020). "Sample size for survey research: Review and recommendations." *Journal of applied structural equation modeling*, 4(2), i-xx, doi: *10.47263/JASEM.4(2)01.*

Mihelcic, J. R., C. C. Naughton, M. E. Verbyla, Q. Zhang, R. W. Schweitzer, S. M. Oakley, E. C. Wells and L. M. Whiteford, (2017). "The grandest challenge of all: The role of environmental engineering to achieve sustainability in the world's developing regions." *Environmental Engineering Science*, 34(1), 16-41, doi: *10.1089/ees.2015.0334.*

Nagalla, V., S. Dendukuri and S. Asadi, (2018). "Analysis of risk assessment in construction of highway projects using relative importance index method." *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 9, 1-6.

Nawaz, A., A. Waqar, S. A. R. Shah, M. Sajid and M. I. Khalid, (2019). "An Innovative Framework for Risk Management in Construction Projects in Developing Countries: Evidence from Pakistan." *Risks*, 7(1), 1-10, doi: *10.3390/risks7010024.*

Nguyen, H. D. and L. Macchion, (2023). "A comprehensive risk assessment model based on a fuzzy synthetic evaluation approach for green building projects: the case of Vietnam." *Engineering, Construction and Architectural Management*, 30(7), 2837-2861, doi: *10.1108/ECAM-09-2021-0824.*

Nguyen, M. V. and T. T. Nguyen, (2024). "A fuzzy synthetic evaluation approach for climate for innovation measurement in construction firms." *Engineering, Construction and Architectural Management*, 31(12), 5085-5105, doi: *10.1108/ECAM-02-2023-0130.*

Nguyen, T., L. H. Nguyen, N. Chileshe and L. Hallo, (2023). "Investigating Critical Risk Factors of Selecting Joint Venture Contractors for Infrastructure Projects Implementation in Vietnam." *International Journal of Construction Management*, 23(14), 2438-2451, doi: *10.1080/15623599.2022.2065076.*

Nong, T. N.-M., (2023). "Performance efficiency assessment of Vietnamese ports: An application of Delphi with Kamet principles and DEA model." *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 39(1), 1-12, doi: *10.1016/j.ajsl.2022.10.002.*

Noor, N., N. Yahaya, S. Kildiene, H. Sarvari and A. Mardani, (2015). "A fuzzy analytic network process method for risk prioritization in freeway PPP projects: An Iranian case study." *Journal of Civil Engineering and Management*, 21(7), 933-947, doi: *10.3846/13923730.2015.1051104.*

Nyumba, T., Wilson, C. Derrick and N. Mukherjee, (2018). "The use of focus group discussion methodology: Insights from two decades of application in conservation." *Methods in Ecology and Evolution*, 9(9), 20-32, doi: *10.1111/2041-210X.12860.*

Park, E., (2024). "Sand mining in the Mekong Delta: Extent and compounded impacts." *Science of The Total Environment*, 924, 171620, doi: *10.1016/j.scitotenv.2024.171620.*

Perera, B. A. K. S., R. Rameezdeen, N. Chileshe and M. R. Hosseini, (2014). "Enhancing the effectiveness of risk management practices in Sri Lankan road construction projects: A Delphi approach." *International Journal of Construction Management*, 14(1), 1-14, doi: *10.1080/15623599.2013.875271.*

Pham, D., L. Nuong, D. Tran Ngoc Huy, T. Thang, B. Sinh, P. Nhan and D. Hien, (2024). "Further Analysis on PROS AND CONS of Highways Projects." *Scholars Journal of Arts Humanities and Social Sciences*, 12(01), 26-31, doi: *10.36347/sjahss.2024.v12i01.005.*

Pham, D., L. Nuong, D. Tran Ngoc Huy, T. Thang, B. Sinh, P. Nhan and D. Master, (2024). "Socio-Economic Benefits of Highways (DCT) in Vietnam." *Scholars Journal of Economics, Business and Management*, 11(01), 1-5, doi: *10.36347/sjebm.2024.v11i01.001.*

Pitchforth, J. and K. Mengersen, (2013). "A proposed validation framework for expert elicited Bayesian Networks." *Expert Systems with Applications*, 40(1), 162-167, doi: *10.1016/j.eswa.2012.07.026.*

PMI, (2017). A Guide to the Project Management Body of Knowledge, PMBOK® Guide, Sixth Edition. Newtown Square, PA, Project Management Institute.

PMI, (2021). A Guide to the Project Management Body of Knowledge, PMBOK® Guide, Seventh Edition. Newtown Square, PA, Project Management Institute.

Qianqing, W. and X. Yiqing, (2023). "A review of research related to risk management of EPC engineering projects and future prospects." *Academic Journal of Business & Management*, 5(20), 25-34, doi: *10.25236/AJBM.2023.052005.*

Rezaeenour, J., M. Mousavi-Saleh and A. Kolahkaj, (2018). "Analyzing the risk factors of private-public partnerships for water supply projects using fuzzy synthetic evaluation: a case study of Iranian water supply projects." *Water Science and Technology: Water Supply*, 18(3), 1005-1019, doi: *10.2166/ws.2017.174.*

Rezavalipour, A., H. Sarvari, N. Yahaya, N. Noor and A. S. A Rashid, (2013). "Analytic Network Process (ANP) to Risk Assessment of Gas Refinery EPC Projects in Iran." *Journal of Applied Sciences Research*, 9(3), 1359-1365.

Rogozhina, N., (2022). "Socio-environmental problems of the Mekong delta in Vietnam." *The Russian Journal of Vietnamese Studies*, 6(2), 37-45, doi: *10.54631/VS.2022.62-101585.*

Sajid, Z., F. Khan and Y. Zhang, (2017). "Integration of interpretive structural modelling with Bayesian network for biodiesel performance analysis." *Renewable Energy*, 107, 194-203, doi: *10.1016/j.renene.2017.01.058.*

Schäfer, M., O. Gretzschel and H. Steinmetz, (2020). "The Possible Roles of Wastewater Treatment Plants in Sector Coupling." *Energies*, 13(8), 2088.

Sorooshian, S., M. Tavana and S. Ribeiro-Navarrete, (2023). "From classical interpretive structural modeling to total interpretive structural modeling and beyond: A half-century of business research." *Journal of Business Research*, 157, 113642, doi: *10.1016/j.jbusres.2022.113642.*

Standardization, I. O. f., (2018). ISO 31000: 2018, Risk Management - Guidelines. Vernier, Geneva, Switzerland, International Organization for Standardization.

Sy Hung, M., W. Jian Qiong and V. Hong Anh, (2016). Risk evaluation and control of EPC hydropower construction project in Vietnam. Proceedings of the 2016 International Conference on Civil, Transportation and Environment (ICCTE 2016), Guangzhou, China, Atlantis Press.

Tah, J. H. M. and V. Carr, (2000). "A proposal for construction project risk assessment using fuzzy logic." *Construction Management and Economics*, 18(4), 491-500, doi: *10.1080/01446190050024905.*

Tran, D. and K. Molenaar, (2012). Critical risk factors in project delivery method selection for highway projects. Construction Research Congress 2012: Construction Challenges in a Flat World, 21-23 May 2012, West Lafayette, Indiana, USA, Curran Associates, Inc.

Ulhaq, I., T. Maqsood, M. Khalfan, T. Le and A. Rauf, (2023). "Investigating Stakeholder Perspectives on the Knowledge Management of Construction Projects: A Case Study of the Vietnamese Construction Industry." *Buildings*, 13(11), 2745, doi: *10.3390/buildings13112745.*

van Steen, J. F., (1992). "A perspective on structured expert judgment." *Journal of hazardous materials*, 29(3), 365-385, doi: *10.1016/0304-3894(92)85042-Y.*

Veen, D., D. Stoel, M. Zondervan-Zwijnenburg and R. Van de Schoot, (2017). "Proposal for a five-step method to elicit expert judgment." *Frontiers in psychology*, 8, 2110, doi: *10.3389/fpsyg.2017.02110.*

Vu, H. A., V. H. Cu, L. X. Min and J. Q. Wang, (2017). "Risk Analysis of Schedule Delays in International Highway Projects in Vietnam using a Structural Equation Model." *Engineering, Construction and Architectural Management*, 24(6), 1018-1039, doi: *10.1108/ECAM-06-2016-0138.*

Warfield, J. N., (1973). "Intent Structures." *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-3(2), 133-140, doi: *10.1109/TSMC.1973.5408494.*

Williams, B., A. Onsman and T. Brown, (2012). "Exploratory factor analysis: A five-step guide for novices." *Australasian journal of paramedicine*, 8, 1-13, doi: *10.33151/ajp.8.3.9.*

Xu, Y., J. F. Y. Yeung, A. P. C. Chan, D. W. M. Chan, S. Q. Wang and Y. Ke, (2010). "Developing a risk assessment model for PPP projects in China - A fuzzy synthetic evaluation approach." *Automation in Construction*, 19(7), 929-943, doi: *10.1016/j.autcon.2010.06.006.*

Yucelgazi, F. and İ. Yitmen, (2019). "An ANP Model for Risk Assessment in Large-Scale Transport Infrastructure Projects." *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44(5), 4257-4275, doi: *10.1007/s13369-018-3314-z.*

Zafar, I., I. Y. Wuni, G. Q. P. Shen, S. Ahmed and T. Yousaf, (2019). "A fuzzy synthetic evaluation analysis of time overrun risk factors in highway projects of terrorism-affected countries: the case of Pakistan." *International Journal of Construction Management*, 22(4), 732-750, doi: *10.1080/15623599.2019.1647634.*

Zayed, T., M. Amer and J. Pan, (2008). "Assessing risk and uncertainty inherent in Chinese highway projects using AHP." *International Journal of Project Management*, 26(4), 408-419, doi: *10.1016/j.ijproman.2007.05.012.*

Zekhnini, K., C. Anass, I. Bouhaddou, Y. Benghabrit and A. Belhadi, (2022). "Supply chain 4.0 risk management: an interpretive structural modelling approach." *International Journal of Logistics Systems and Management*, 40(1/2), 171-204, doi: *10.1504/IJLSM.2020.10037750.*

MỘT NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM BÊ TÔNG NHIỀU TRO BAY SỬ DỤNG VẬT LIỆU ĐỊA PHƯƠNG TỈNH VĨNH LONG TRONG XÂY DỰNG BỀN VỮNG

Huỳnh Thị Mỹ Dung[1,2], Huỳnh Văn Hiệp[2], Nguyễn Thanh Sang[3,*]

[1]NCS, Trường Đại học Giao thông vận tải

[2]Khoa Xây dựng, Trường Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Trà Vinh

[3]Trường Đại học Giao thông vận tải

**Tác giả liên hệ: Email: nguyenthanhsang@utc.edu.vn*

Tóm tắt

Nghiên cứu đánh giá khả năng sử dụng tro bay từ nhà máy Nhiệt điện kết hợp với cát nhiễm mặn ở Đồng bằng sông Cửu Long để sản xuất bê tông nhiều tro bay giảm phụ thuộc vào tài nguyên cát tự nhiên. Nghiên cứu cho thấy ở mức hàm lượng tro bay cao (30%), vừa đảm bảo đồng thời cường độ chịu nén và kéo, đồng thời hạn chế được những nhược điểm khi dùng cát nhiễm mặn. Thiết kế các cấp phối bê tông với tỷ lệ thay thế xi măng bằng tro bay đồng thời sử dụng cát hỗn hợp kết hợp cát nghiền và cát nhiễm mặn. Kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén, cường độ ép chẻ và bước đầu đánh giá khả năng sử dụng trong môi trường xâm thực thông qua các chỉ tiêu cơ lý và thành phần vật liệu. Kết quả cho thấy bê tông sử dụng cát nhiễm mặn đạt cường độ nén 56,12 MPa ở 28 ngày và 75,70 MPa ở 180 ngày, cường độ ép chẻ lần lượt 4,85 MPa và 6,08 MPa ở 28 và 180 ngày tuổi, tương đương hoặc cao hơn bê tông truyền thống. Nghiên cứu quan tâm đến việc tận dụng vật liệu địa phương tro bay và cát nhiễm mặn không chỉ giải quyết bài toán thiếu hụt vật liệu xây dựng mà còn góp phần giảm phát thải CO_2 trong xây dựng hạ tầng ở khu vực Đồng bằng sông Cửu Long.

Từ khoá: Bê tông tro bay, bê tông cát nhiễm mặn, bê tông bền vững, Đồng bằng sông Cửu Long.

1. Đặt vấn đề

Công nghệ vật liệu xanh thân thiện môi trường trong xây dựng là một lĩnh vực đột phá, thể hiện xu hướng hiện đại hóa và tối ưu hóa trong ngành xây dựng toàn cầu. Những tiến bộ trong khoa học vật liệu đã tạo ra các vật liệu mới với các đặc tính vượt trội, giúp cải thiện chất lượng, tính năng và tính bền vững của các công trình *(Soliman, 2022)*. Vật liệu tái chế và dựa trên sinh học giúp giảm chất thải, sử dụng tài nguyên tái tạo và cải thiện môi trường sống, với các ví dụ như nhựa nhiệt dẻo, nhựa sinh học và các sản phẩm thải tái chế *(Casini, 2016)*. Với việc nghiên cứu và khám phá các đặc điểm kỹ thuật, kinh tế và môi trường vượt trội, các công nghệ và vật liệu tiên tiến trong tương lai sẽ góp phần thay đổi căn bản cách xây dựng và quản lý các dự án hướng tới bền vững và thân thiện với môi trường *(Firoozi, 2024)*. Hiện nay, tại một số quốc gia, trong đó có Việt Nam, hệ thống nhà máy Nhiệt điện là nguồn cung cấp năng lượng chính *(Tạp chí Năng lượng Việt Nam, 2024),* đồng thời cũng là nguồn của một lượng lớn chất thải công nghiệp *(Báo giao thông, 2016)* gây ảnh hưởng lớn đến môi trường sinh thái. Thay vì bỏ ra nhiều chi phí để xử lý chất thải, công nghệ hiện đại đã mang đến xu hướng tái chế thành vật liệu xây dựng mới mang lại lợi ích kinh tế, năng lượng, môi trường và phát triển. Tro bay là sản phẩm phụ của các nhà máy Nhiệt điện, tro bay có tiềm năng rất lớn dùng như phụ gia khoáng hoạt tính trong quá trình nghiền clinker tạo thành xi măng poóc lăng hỗn hợp (PCB) và sản xuất bê tông. Tro bay thường được sử dụng thay cho xi măng trong bê tông để giảm lượng xi măng cần thiết và nâng cao chất lượng cơ học của bê tông, bao gồm độ bền, khả năng chống nước, chống va đập và các thuộc tính khác. Ngoài ra, thay thế tro bay cho xi măng sẽ tiết kiệm nhiều tài nguyên thiên nhiên bằng cách giảm lượng CO_2 thải ra trong quá trình sản xuất xi măng *(Tan, 2022)*.

Bên cạnh đó việc khai thác cát xây dựng gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến hệ sinh thái địa phương, tác động đến môi trường vật lý, sinh học, hóa học và nhân tạo *(Jaramillo, 2007)*. Với tốc

độ khai thác hiện tại, nguồn cát sông dự kiến sẽ cạn kiệt vào năm 2050. Trên thế giới đang cần đến một lượng cát rất khổng lồ và việc khai thác cát trở thành tâm điểm và là một vấn đề về môi trường trên toàn thế giới. Trong trường hợp khai thác cát sỏi trên sông, trầm tích được lắng đọng trong các hố sau điểm gãy và nước sẽ gây xói mòn ở hạ lưu *(Rentier, 2022)*. Tại Đồng bằng sông Cửu Long, sạt lở bờ sông diễn ra ngày càng nghiêm trọng. Tính đến năm 2019, có 665 điểm sạt lở với tổng chiều dài 1.048 km, riêng Sông Hậu có 90 điểm (183 km), Sông Tiền 202 điểm (218 km), và Cà Mau 61 điểm (150 km). Nhiều nghiên cứu cho thấy nguyên nhân đến từ địa chất, địa hình, thủy lực, phù sa, khai thác cát, giao thông thuỷ và hạ tầng xây dựng *(Huỳnh, 2019)*. Việc tích nước tại các hồ chứa trên dòng Mekong và khai thác cát không kiểm soát đã làm giảm lượng phù sa, khiến sạt lở ngày càng gia tăng.

Trước những thách thức về môi trường do khai thác tài nguyên truyền thống và áp lực gia tăng nhu cầu xây dựng, việc tận dụng hiệu quả nguồn nguyên vật liệu địa phương như tro bay, cát nhiễm mặn hay các phế thải công nghiệp tái chế trở nên cấp thiết. Đây không chỉ là hướng đi giảm chi phí và phụ thuộc vào vật liệu truyền thống đang dần cạn kiệt, mà còn góp phần bảo vệ hệ sinh thái, giảm phát thải và thích ứng với biến đổi khí hậu. Do đó, nghiên cứu sử dụng nguồn nguyên vật liệu địa phương trong xây dựng và phát triển bền vững là cần thiết nhằm tìm ra giải pháp vật liệu phù hợp với điều kiện thực tế, đáp ứng yêu cầu kỹ thuật và định hướng phát triển bền vững cho khu vực.

2. Phương pháp nghiên cứu và thiết kế cấp phối

2.1 Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp lý thuyết tập trung thu thập, phân tích và tổng hợp tài liệu khoa học liên quan đến việc ứng dụng tro bay và các công nghệ xử lý chất thải từ nhà máy Nhiệt điện trong lĩnh vực xây dựng. Dữ liệu được lựa chọn từ các công bố gần đây trong và ngoài nước, bao gồm bài báo khoa học, tiêu chuẩn kỹ thuật, báo cáo chuyên ngành và tài liệu thực tiễn. Các kết quả được đối chiếu để xác định xu hướng công nghệ và khả năng ứng dụng vào thực tiễn.

Phương pháp thực nghiệm được tiến hành bằng cách thiết kế và chế tạo các cấp phối bê tông sử dụng tro bay kết hợp với cát nhiễm mặn, trên cơ sở lựa chọn vật liệu sẵn có tại khu vực nghiên cứu. Các chỉ tiêu cơ lý như độ sụt, cường độ nén, ép chẻ và một số tính chất khác. Thí nghiệm nhằm đánh giá khả năng sử dụng tổ hợp vật liệu này trong sản xuất bê tông bền vững, phù hợp điều kiện vùng Đồng bằng sông Cửu Long.

Kết quả tổng hợp từ hai phương pháp cho phép đánh giá tiềm năng ứng dụng tro bay và cát nhiễm mặn trong xây dựng, từ đó đề xuất các hướng nghiên cứu và phát triển công nghệ vật liệu theo hướng an toàn môi trường, tiết kiệm năng lượng và phù hợp thực tiễn Việt Nam.

2.2 Thực nghiệm cấp phối sử dụng hàm lượng tro bay cao và cát nhiễm mặn

2.2.1 Vật liệu thí nghiệm

Chất kết dính bao gồm xi măng PC40 đạt các chỉ tiêu về cường độ, hàm lượng SO_3, hàm lượng mất khi nung và các chỉ tiêu khác. Tro bay tại Nhiệt điện Duyên Hải, với tổng hàm lượng SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 = 82,82%, hàm lượng CaO là 1,54%, hàm lượng mất khi nung là 7,5%, mức độ hoạt động phóng xạ riêng đạt yêu cầu. Loại tro bay được sử dụng đạt tiêu chuẩn loại F theo *(TCVN 10302, 2014)*, tương đương với tro bay loại F, cấp II theo tiêu chuẩn Trung Quốc *(GB/T50146, 2014)*. Xi măng và tro bay dùng trong nghiên cứu trình bày ở Hình 1.

Xi măng PC40

Tro bay loại F

Hình 1. Xi măng và Tro bay sử dụng trong thí nghiệm

Cốt liệu nhỏ được sử dụng trong các cấp phối được lựa chọn và ưu tiên các vật liệu tại địa phương trình bày Hình 2. Thành phần và tính chất của cát tự nhiên hoàn toàn phù hợp với Tiêu chuẩn hiện hành (Hàm lượng hạt < 0,14 mm là 4%, mô đun độ lớn 1,87, hàm lượng clorua 0,0069). Cát nghiền phù hợp tiêu chuẩn *TCVN 9205:2012* (Hàm lượng hạt > 5 mm là 1,5%, hàm lượng hạt < 0,14 mm là 6,8%, mô đun độ lớn 3,13, hàm lượng clorua 0,0069). Cát nhiễm mặn Duyên Hải tỉnh Vĩnh Long được khai thác từ biển và tập kết tại bãi, không xử lý thêm (Hàm lượng hạt > 5 mm là 0%, hàm lượng hạt < 0,14 mm sấp xỉ 82%, mô đun độ lớn 0,9, hàm lượng clorua 0,106).

Cát tự nhiên *Cát nghiền* *Cát nhiễm mặn*

Hình 2. Cốt liệu nhỏ sử dụng trong thí nghiệm

Cốt liệu lớn được sử dụng là đá 5x20 trong Hình 3 đảm bảo (*TCVN 7570:2006)* có khối lượng riêng 2,816 g/cm^3

Hình 3. Đá 5 × 20 Antraco An Giang

Hình 4. phụ gia SilkRoad SPR1500 loại G

Nước trộn đảm bảo tiêu chuẩn kỹ thuật. Loại Phụ gia được sử dụng là phụ gia giảm nước tầm cao SilkRoad SPR1500 loại G (Hình 4) đối với bê tông yêu cầu chất lượng duy trì tốt và cường độ cao phù hợp với *(TCVN 8826:2011).*

2.2.2 Tính toán cấp phối

Cấp phối được tính toán và điều chỉnh theo tiêu chuẩn kỹ thuật của Trung Quốc (JGJ 55, 2011). Bê tông được thiết kế với yêu cầu cường độ đặc trưng 45MPa, được xác định theo công thức:

$$f_{cu,0} \geq f_{cu,k} + 1,645\sigma \quad (1)$$

Xác định tỷ lệ nước (W) trên chất kết dính (B):

$$W / B = \frac{\alpha_a f_b}{f_{cu,0} + \alpha_a \alpha_b f_b} \quad (2)$$

Theo công thức (1) cường độ mục tiêu tối thiểu dùng thiết kế là: 45+1,645*5 = 53 MPa.

Trong đó, hệ số hồi quy $\alpha_a = 0,53$, $\alpha_b = 0,2$ đối với cốt liệu là đá dăm

Giá trị đo cường độ nén của chất kết dính $f_b = \gamma_f \gamma_s f_{ce}$ (3)

Trong đó: $\gamma_f = 0,7 \div 0,75$ là hệ số ảnh hưởng của tro bay hàm lượng 30%; $\gamma_s = 1$ vì không sử dụng xỉ lò cao nghiền mịn.

$f_{ce} = \gamma_c . f_{ce,g} = 46,4 MPa$ - cường độ chịu nén của xi măng dùng để thiết kế.

Tính toán lượng cốt liệu mịn và cốt liệu thô theo công thức:

$$m_{c0} + m_{g0} + m_{s0} + m_{w0} = m_{cp} \quad (4)$$

Tỷ lệ cát (%) $$\beta_s = \frac{m_{s0}}{m_{g0} + m_{s0}} .100\% \quad (5)$$

Trong (4) m_{c0}, m_{g0}, m_{s0}, m_{w0}, lần lượt là khối lượng xi măng, cốt liệu lớn, cốt liệu nhỏ, nước dùng cho 1m^3 bê tông.

Tỷ lệ cát trong hỗn hợp bê tông xi măng cũng được xác định trong khoảng 29÷34%, ứng với tỷ lệ $D_{max} = 20$ mm và tỷ lệ $W / B = 0,4$. Tuy nhiên, đối với các hạt to, hạt nhỏ và cát nhân tạo thì tỷ lệ cát điều chỉnh theo thực tế.

Dự kiến khối lượng thể tích bê tông đạt $2.350 \div 2.450\, kg / m^3$

Sử dụng phương pháp thể tích tuyệt đối để tính toán lượng cốt liệu thô còn lại

$$\frac{m_{co}}{\rho_c} + \frac{m_{fo}}{\rho_f} + \frac{m_{go}}{\rho_g} + \frac{m_{so}}{\rho_s} + \frac{m_{wo}}{\rho_w} + 0,01\alpha = 1 \quad (6)$$

Với lần lượt ρ_c, ρ_f, ρ_g, ρ_s lần lượt là khối lượng riêng của xi măng, chất kết dính phụ thêm, cố liệu thô, cốt liệu nhỏ. Tỷ lệ % khí hàm chứa α trong hỗn hợp bê tông lấy bằng 1. Khối lượng riêng của nước $\rho_w = 1.000\ \left(kg / m^3\right)$. Kết quả tính toán cấp phối sau hiệu chỉnh được trình bày trong Bảng 1. Thành phần bê tông trong bảng cho thấy rằng nếu sử dụng bê tông có tro bay có thể giảm được lượng phụ gia siêu dẻo dùng cho bê tông để đạt cùng cấp độ sụt là 10±2 cm.

Bảng 1. *Thành phần của hai loại bê tông được thiết kế*

STT	Kí hiệu	Nước	Xi măng (kg)	Tro bay (kg)	Đá 5x20 (kg)	Cát tự nhiên (kg)	Cát nghiền (kg)	Cát nhiễm mặn (kg)	Phụ gia (kg)
1	BTCTN0	170	430	0	1.150	373	373	0	4,7
2	BTCTN	170	301	129	1.150	353	353	0	3,2
3	BTCNM	168	308	132	1.150	0	350	350	3,3

3. Kết quả và thảo luận

3.1 Cường độ chịu nén

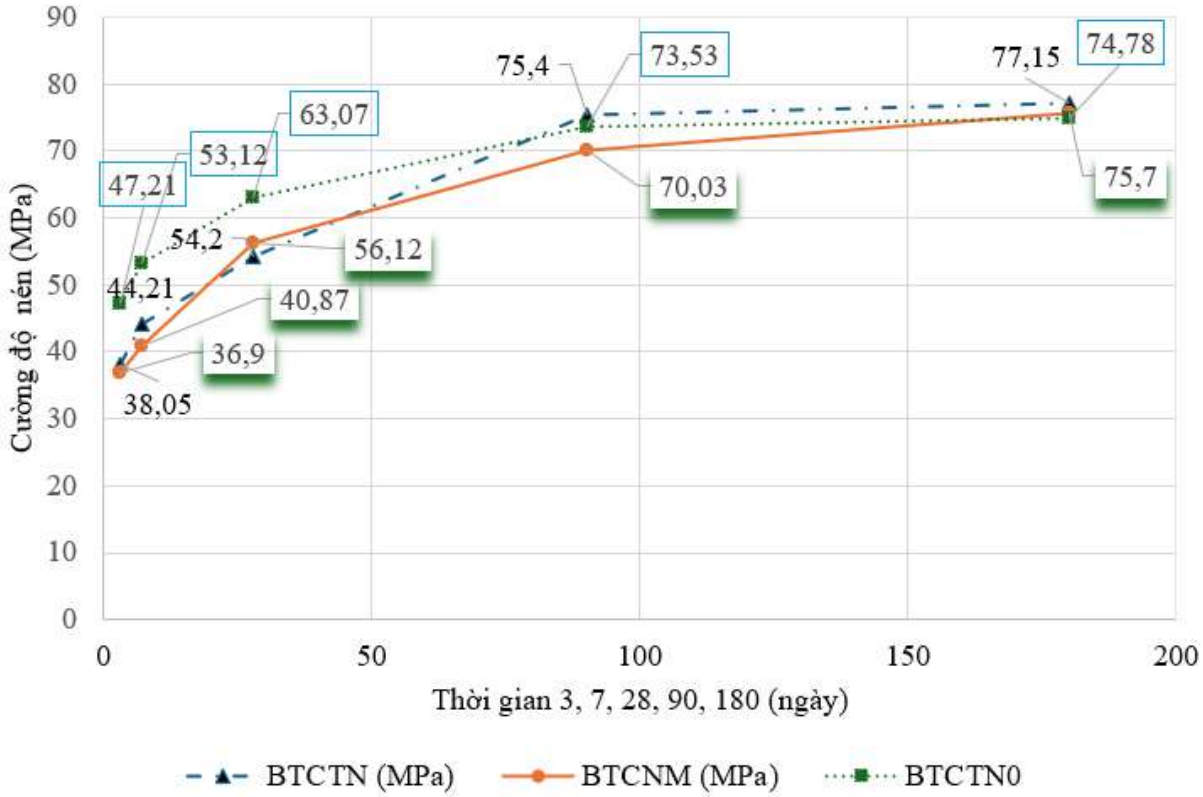
Kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén của hai loại bê tông BTCTN và BTCNM, được thí nghiệm trên mẫu lập phương tiêu chuẩn và theo TCVN 3118-2022 được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. *Kết quả cường độ chịu nén (Mpa)*

Kí hiệu mẫu	3 (ngày)	7 (ngày)	28 (ngày)	90 (ngày)	180 (ngày)
BTCTN0	47,21	53,12	63,07	73,53	74,78
BTCTN	38,05	44,21	54,20	75,40	77,15
BTCNM	36,90	40,87	56,12	70,03	75,70

Kết quả thí nghiệm cho thấy cả hai cấp phối BTCTN và BTCNM đều đạt cường độ mục tiêu 53MPa ở 28 ngày. Loại BTCTN đạt 54,2MPa, BTCNM đạt 56,12MPa vượt cường độ chịu nén đặc trưng là 45MPa, đối với bê tông BTCTN0 đối chứng có cường độ chịu nén 28 ngày vượt hẳn cường độ mục tiêu. Cường độ ở tuổi muộn 90, 180 ngày của bê tông BTCTN, cao hơn cường độ ở 28 ngày lần lượt là 139%, 142% và của bê tông BTCNM lần lượt là 125%, 135%, trong khi đó của bê tông đối chứng BTCN0 lần lượt là 117%, 119%. Kết quả này nói lên rằng đối với bê tông nhiều tro bay cường độ phát triển ở tuổi muộn và thậm chí còn cao hơn so với bê tông đối chứng cùng mức chất kết dính ở tuổi 90 ngày và 180 ngày. Cùng một phương pháp thiết kế thành phần tuy nhiên để đạt cường độ mục tiêu như trên thì thấy rằng đối với bê tông có nhiều tro bay có thể tham khảo được tiêu chuẩn Trung Quốc JGJ 55, 2011 để tính toán. Ở 180 ngày tuổi cường độ của bê tông nhiều tro bay sử dụng cát mặn và cát tự nhiên đều vượt cường độ của bê tông không sử dụng tro bay. Điều này cho thấy sự khả thi khi thay thế hoàn toàn cát tự nhiên bởi cát nghiền và cát nhiễm mặn, khi xét về mặt chịu lực của bê tông. Sự phát triển cường độ theo thời gian của 3 loại bê tông đã thiết kế được trình bày trong Hình 5.

Các kết quả trong nghiên cứu này phù hợp với một số nghiên cứu trước đây về tro bay. *(Kosior-Kazberuk, 2007)* khi theo dõi bê tông thay thế tro bay đến 30% ghi nhận cường độ nén ở tuổi dài ngày cao hơn so với mẫu không sử dụng tro bay. Nghiên cứu của *(Haruna, 2021)* cho thấy cường độ tăng đáng kể theo thời gian nhờ phản ứng hóa học kéo dài. Xu hướng này tương đồng với *(Nguyen, 2022,* khi các tác giả chỉ ra rằng hàm lượng tro bay tối ưu giúp cải thiện quan hệ ứng suất – biến dạng và cường độ nén ở tuổi dài ngày, mặc dù ở tuổi sớm có sự suy giảm nhất định. Đồng thời, kết quả này cũng phù hợp với tổng quan của *(Szcześniak, 2025)* cũng khẳng định vai trò quan trọng của tro bay trong phát triển cường độ nén lâu dài và hướng đến tính bền vững của vật liệu. Nhiều đánh và thử nghiệm gần đây cho thấy vùng an toàn để thay thế xi măng bằng tro bay là ~20–35% nếu mục tiêu là duy trì hoặc tăng cường độ nén; với hàm lượng tro bay lớn hơn 50% cần thêm silica fume, nano-silica, hoặc kỹ thuật curing đặc biệt để đạt cường độ cao ở tuổi muộn *(Runganga, 2024)*. Cát biển vùng ven biển Hà Tĩnh Việt Nam có tiềm năng rất lớn để sản xuất bê tông đường giao thông nông thôn, cường độ mục tiêu đạt 30MPa *(Nguyen, 2024)*. Khi xét đến sự ảnh hưởng về cường độ nén của bê tông khi sử dụng đồng thời tro bay và cát nhiễm mặn thì các kết quả cho thấy sự tương đồng so với các nghiên cứu *gần* đây. Khi kết hợp cát biển và cát nhân tạo cùng với tỷ lệ tro bay khác nhau *(Sindhurashm, 2024)* bê tông tự đầm đạt cườngđộ nén tốt ở 90 ngày và cho rằng nếu lượng cát biển phù hợp sẽ không làm suy giảm cường độ bê tông. Khi sử dụng 50% cát tự nhiên và 50% cát biển là tỷ lệ phối trộn tối ưu, kết hợp với tro bay ở các tỷ lệ khác nhau cường độ mục tiêu đạt 28MPa ở hàm lượng 10%, 20% tro bay, nhưng khi thay thế đến 30% tro bay thì cường độ mục tiêu không đạt *(Phan, 2025)*.

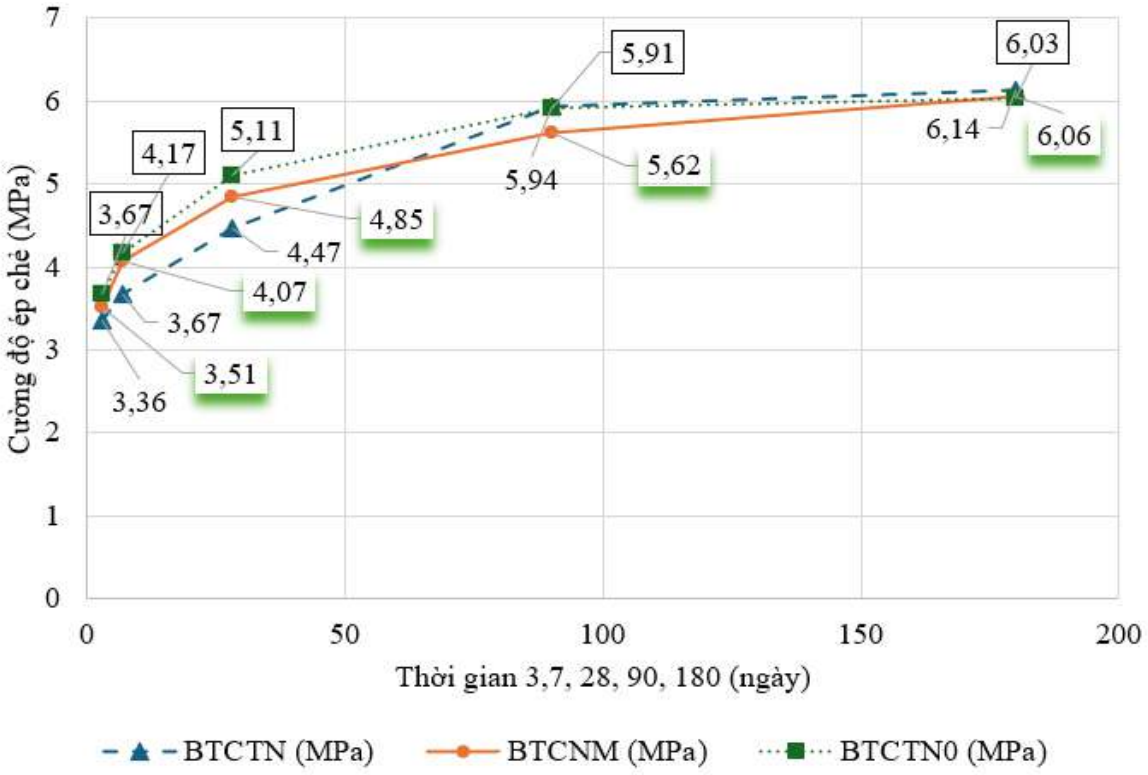


Hình 5. Cường chịu nén của các loại bê tông theo thời gian

3.2. Cường độ ép chẻ

Kết quả thí nghiệm cường độ ép chẻ được trình bày trong Hình 6 cho thấy cả hai cấp phối BTCTN và BTCNM đều đạt và vượt yêu cầu về khả năng chịu kéo của bê tông kết cấu thông thường ở tuổi 28 ngày. Cụ thể, BTCTN đạt 4,47 MPa, trong khi BTCNM đạt 4,85 MPa, cao hơn 8,5% so với BTCTN và tiệm cận với bê tông đối chứng BTCTN0 (5,11 MPa). Đặc biệt, sự phát triển cường độ ở tuổi muộn cho thấy cả ba loại bê tông đều tăng ổn định, với giá trị 90 ngày và 180 ngày lần lượt đạt 133% và 137% so với 28 ngày đối với BTCTN, 116% và 125% đối với BTCNM, và 116% và 118% đối với BTCTN0. Kết quả này chứng minh rằng bê tông nhiều tro bay vẫn duy trì tốc độ phát triển cường độ kéo ở tuổi dài hạn, thậm chí tiệm cận hoặc vượt bê tông đối chứng. Đặc biệt ở 180 ngày, BTCNM đạt 6,06 MPa, tương đương với BTCTN (6,14 MPa) và cao hơn BTCTN0 (6,03 MPa). Điều này cho thấy việc sử dụng tro bay kết hợp với cát nhiễm mặn hoàn toàn khả thi, không làm suy giảm cường độ chịu kéo mà còn góp phần nâng cao độ bền lâu dài của bê tông trong điều kiện xâm thực đặc thù của Đồng bằng sông Cửu Long.

Các nghiên cứu gần đây cho thấy xu hướng chung là tro bay làm giảm độ bền kéo ở tuổi rất sớm nhưng cải thiện hoặc duy trì cường độ kéo ở tuổi muộn nhờ phản ứng pozzolanic và việc cải thiện vi cấu trúc khi dùng w/b thấp và phụ gia thích hợp *(He, 2024)*. Nghiên cứu thực nghiệm trên bê tông dùng hoàn toàn hoặc một phần cát biển cũng báo cáo rằng, nếu điều chỉnh cấp phối phù hợp, cường độ kéo tách không bị suy giảm và đôi khi còn được cải thiện *(Sindhurashmi, 2024; Tan & Yang, 2024)*. Các khảo sát thực nghiệm và mô hình gần đây cũng chỉ ra rằng bổ sung tro bay ở mức thường (20–30%) có thể duy trì hoặc nâng cường độ kéo ở tuổi dài ngày. Do đó, giá trị 4,85 → 6,08 MPa trong nghiên cứu này là hoàn toàn phù hợp với xu hướng nghiên cứu: cường độ kéo hơi thấp hơn ở 28 ngày) nhưng tăng rõ rệt ở tuổi muộn khi dùng tro bay kết hợp cát nhiễm mặn và cát nghiền.



Hình 6. Cường độ ép chẻ của các mẫu bê tông

3.3. Lượng phát thải CO_2

Theo *(Hammomd, 2011)* một số loại nguyên vật liệu đã được thống kê mức độ tiêu thụ năng lượng và lượng phát thải carbon như cốt liệu chung, xi măng, cát, đá, tro bay, nước có hệ số tiêu thụ năng lượng (EE-MJ/kg) lần lượt là 0,083, 5,50, 0,081, 1,50, 0,1, 0,01 và lượng Carbon (EC) phát sinh là 0,0048, 0,93, 0,0048, 0,087, 0,008, 0,001 ($kgCO_2/kg$). Lượng Carbon (CO_2e, đơn vị $kgCO_2e/kg$) được ghi nhận là 0,0052 (cốt liệu chung), 0,95 (xi măng), 0,0051 (cát), 0,09 (đá). Kết quả thiết kế cấp phối cho thấy khi thay thế 30% lượng xi măng bởi tro bay thì tổng lượng vật liệu trên $1m^3$ bê tông sẽ giảm năng lượng tiêu thụ và lượng phát thải đáng kể. Kết quả này cũng cho thấy sự phù hợp với nghiên cứu trước đó *(Nguyễn, 2025)*. Cụ thể, đối với cấp phối khi dùng 30% tro bay thì giảm EE khoảng 17% và CO_2e giảm xấp xỉ 24,6%, lượng EC giảm trên 30%. Điều này cho thấy hiệu quả giảm phát thải rõ rệt khi sử dung tro bay thay thế, và sự ảnh hưởng không đáng kể khi sử dụng cát tự nhiên và cát nhiễm mặn vì tác nhân chủ yếu phát thải là từ xi măng.

3.4. Đánh giá về độ bền và môi trường

Dựa trên kết quả đạt được về cường độ nén, ép chẻ và các thông số liên quan đến tính chất của các vật liệu, có thể thấy bê tông sử dụng tro bay và cát nhiễm mặn có khả năng phát triển cường độ ổn định, đảm bảo yêu cầu về độ bền cơ học trong suốt quá trình phát triển. Đặc biệt, trong điều kiện môi trường xâm thực khắc nghiệt tại Đồng bằng sông Cửu Long vì loại bê tông này có sử dung tro bay loại F với thành phần giàu SiO_2 và Al_2O_3 tham gia phản ứng pozzolan đã góp phần làm giảm hàm lượng $Ca(OH)_2$ tự do, từ đó giảm khả năng bị tấn công trong môi trường xâm thực sunfat. Ngoài ra, việc sử dụng cát mịn địa phương kết hợp cấp phối hợp lý giúp giảm độ rỗng và tăng khả năng chống thấm của bê tông và giảm hàm lượng ion tự do khi tăng lượng tro bay. Tuy nhiên, cần có những nghiên cứu chuyên sâu hơn, chẳng hạn như thí nghiệm ngâm trong dung dịch NaCl, $MgSO_4$, đo độ hút nước, độ thấm ion Cl^-, điện trở suất hay đánh giá mức giảm cường độ sau các chu kỳ ngâm. Đồng thời, thông qua kết quả tính toán phát thải CO_2 và EC, có thể thấy rằng việc sử dụng hàm lượng tro bay cao kết hợp với cát nhiễm mặn trong bê tông không chỉ góp phần giảm đáng kể lượng xi măng Portland tiêu thụ, tiết kiệm tài nguyên khoáng sản, đồng thời hạn chế khai thác cát sông vốn đang gây sạt lở nghiêm trọng ở Đồng bằng sông Cửu Long.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã chỉ ra rằng việc kết hợp tro bay từ các nhà máy Nhiệt điện với cát nhiễm mặn tại khu vực Đồng bằng sông Cửu Long có tiềm năng trở thành một giải pháp khả thi trong sản xuất bê tông bền vững. Kết quả bước đầu cho thấy hỗn hợp vật liệu này không chỉ góp phần giảm đáng kể nhu cầu sử dụng cát tự nhiên mà còn giúp tái sử dụng hiệu quả nguồn thải công nghiệp, giảm tác động tiêu cực đến môi trường. Bên cạnh đó, việc ứng dụng tro bay với hàm lượng cao trong cấp phối bê tông còn mang lại những lợi ích về cải thiện tính công tác, giảm nhiệt thủy hóa, cũng như nâng cao độ bền lâu dài của kết cấu.

Có thể thay thế cát tự nhiên bằng cát nhiễm mặn để giảm áp lực thiếu cát hiện nay trong sản xuất bê tông xi măng và xây dựng ở vùng Đồng bằng Sông Cửu Long.

Kết quả nghiên cứu thực nghiệm ban đầu khảo sát về đồng thời cường độ chịu nén và ép chẻ cho rằng có thể thiết kế thành phần bê tông nhiều tro bay bằng các hệ số theo tiêu chuẩn của Trung Quốc, đạt đồng thời về cường độ mục tiêu như quy định và giảm được tối đa lượng xi măng. Cường độ đạt cao ở tuổi muộn với bê tông nhiều tro bay cho phép chúng ta có thể chọn tuổi thiết kế của bê tông nhiều tro bay ở tuổi muộn để hạn chế được lượng xi măng sử dụng. Cường độ đạt được từ việc thiết kế cần cân nhắc thiết kế đồng thời cả cường độ chịu nén và ép chẻ của bê tông để nâng cao được chất lượng bê tông dùng cho các công trình.

Nghiên cứu cho thấy cần đặt ra khoảng cường độ mục tiêu dùng cho thiết kế thành phần bê tông nhiều tro bay phù hợp với điều kiện địa phương.

Tài liệu tham khảo

Báo Giao thông, 2021. Hơn 20 nhà máy nhiệt điện thải ra 15,7 triệu tấn tro xỉ/năm. Truy cập ngày 18/4/2024, tại: https://www.baogiaothong.vn/hon-20-nha-may-nhiet-dien-thai-ra-157-trieu-tan-tro-xinam-192170921.htm

Bộ Khoa học và Công nghệ, 2006. TCVN 7570:2006. Cốt liệu cho bê tông và vữa – Yêu cầu kỹ thuật.

Bộ Khoa học và Công nghệ, 2011. TCVN 8826:2011. Phụ gia hoá học cho bê tông.

Bộ Khoa học và Công nghệ, 2012. TCVN 9205:2012. Cát nghiền cho bê tông và vữa.

Bộ Khoa học và Công nghệ, 2014. TCVN 10302:2014. Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng.

Bộ Khoa học và Công nghệ, 2022. TCVN 3118:2022. Bê tông – Phương pháp xác định cường độ chịu nén.

Casini, M., 2016. Smart buildings: Advanced materials and nanotechnology to improve energy-efficiency and environmental performance. Woodhead Publishing. https://doi.org/10.1016/C2015-0-00182-4

Firoozi, A.A., Firoozi, A.A., Oyejobi, D.O., Avudaiappan, S., Flores, E.S., 2024. Emerging trends in sustainable building materials: Technological innovations, enhanced performance, and future directions. Results in Engineering, 103521. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103521

Hammond, G., Jones, C., 2011. Embodied Carbon: The Inventory of Carbon and Energy (ICE). BSRIA BG 10/2011. University of Bath.

Haruna, S., Mohammed, B.S., Wahab, M.M.A., Kankia, M.U., Amran, M., & Gora, A.M., 2021. Long-term strength development of fly ash-based one-part alkali-activated binders. Materials, 14(15), 4160. https://doi.org/10.3390/ma14154160

He, J., Peng, J., Chen, G., Xu, D., & Wang, X., 2024. Effects of fly ash on mechanical and durability properties of sea-sand concrete. Buildings, 14(8), 2106. https://doi.org/10.3390/buildings14082106

Huỳnh Công Hoài và nnk, 2019. Phân tích nguyên nhân gây gia tăng xói lở bờ sông ở Đồng bằng sông Cửu Long. Tạp chí Khí tượng Thủy văn, 703, tr. 42–50.

Jaramillo, F., 2007. Estimating and modelling soil loss and sediment yield in the Maracas-St. Joseph River Catchment with empirical models (RUSLE and MUSLE) and a physical-based model (erosion 3D). Montreal: McGill University.

Kosior-Kazberuk, M., & Lelusz, M., 2007. Strength development of concrete with fly ash addition. Journal of Civil Engineering and Management, 13(2), 115–122. https://doi.org/10.3846/13923730.2007.9636427

Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, 2011. JGJ 55-2011: Specification for mix proportion design of ordinary concrete. Beijing.

Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, 2014. GB/T 50146-2014 – Technical code for application of fly ash concrete. Beijing.

Nguyễn Thanh Sang và nnk, 2025. Giảm thiểu phát thải và chỉ số tiêu thụ năng lượng của bê tông nhiều tro bay ở Việt Nam. Tạp chí Xây dựng. ISSN 2734-9888, 07/2025.

Nguyen, N.T., Bui, S.T., Nguyen, D.N., Vu, T.D., Bui, A.T., Do, H.X., Chu, N.V., Nguyen, P.L.T., & Le, T.V., 2024. Potential using of marine sand in coastal areas of Vietnam to create concrete for rural roads. Journal of Mining and Earth Sciences, 65(6), 82–89.

Nguyen, T.-T., & Dang, V.-H., 2022. Experimental and probabilistic investigations of the effect of fly ash dosage on concrete compressive strength and stress–strain relationship. Periodica Polytechnica Civil Engineering, 66(4), 1098–1113. https://doi.org/10.3311/PPci.20607

Phan, V.T.-A., Tran, H.-B., Safi, B., & Vo, V.-T., 2025. Effects of sea sand and fly ash on the compressive strength of concrete. In Proceedings of the 4th International Conference on Sustainable Development in Civil, Urban and Transportation Engineering (March 2025). https://doi.org/10.1007/978-981-97-9400-3_21

Rentier, E.S., Cammeraat, L.H., 2022. The environmental impacts of river sand mining. Science of the Total Environment, 838, 155877. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155877

Runganga, D., Okonta, F., & Musonda, I., 2024. Strength and durability properties of high-volume fly ash (HVFA) binders: A systematic review. CivilEng, 5(2), 435–460. https://doi.org/10.3390/civileng5020022

Sindhurashmi, B.M., Nayak, G., Adesh, N.D., Dubey, S.P., & Rao, V., 2024. Mock-up pragmatic study on the impact performance of self-compacting concrete incorporating sea sand. Scientific Reports, 14, 24744. https://doi.org/10.1038/s41598-024-24744

Soliman, A., Hafeez, G., Erkmen, E., Ganesan, R., Ouf, M., Hammad, A., et al., 2022. Innovative construction material technologies for sustainable and resilient civil infrastructure. Materials Today: Proceedings, 60(1), 365–372. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.248

Szcześniak, A., Siwiński, J., Stolarski, A., Piekarczuk, A., & Nasiłowska, B., 2025. Influence of fly ash on the compressive strength of ultrahigh-performance concrete: A state-of-the-art review towards sustainability. International Journal of Concrete Structures and Materials, 19, 25. https://doi.org/10.1186/s40069-024-00757-

Tan, H., Du, C., He, X., Li, M., Zhang, J., Zheng, Z., Wang, Y., 2022. Enhancement of compressive strength of high-volume fly ash cement paste by wet grinded cement: Towards low carbon cementitious materials. Construction and Building Materials, 323, 126458. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126458

Tan, Y., & Yang, L., 2024. A statistical compressive and splitting tensile strength model for recycled seawater and sea sand concrete with admixtures. Buildings, 14(7), 1950. https://doi.org/10.3390/buildings14071950

Tạp chí Năng lượng Việt Nam, 2024. Cập nhật tình hình hoạt động của EVN [kỳ 1]: Hiện trạng hệ thống nguồn điện Việt Nam. Truy cập ngày 18/4/2024, tại: https://nangluongvietnam.vn/cap-nhat-tinh-hinh-hoat-dong-cua-evn-ky-1-hien-trang-he-thong-nguon-dien-viet-nam-33062.html

An experimental study on high-volume fly ash concrete using local materials from vinh long province for sustainable construction

Huynh Thi My Dung[1,2], Huynh Van Hiep[2], Nguyen Thanh Sang[3,*]
[1]*Ph.D. Candidate, University of Transport and Communications*
[2]*School of Civil Engineering, College of Engineering and Technology, Tra Vinh University*
[3]*University of Transport and Communications*
**Corresponding author: Email: nguyenthanhsang@utc.edu.vn*

Abstract

The study evaluates the potential use of fly ash from thermal power plants in combination with saline sand in the Mekong Delta for producing high-volume fly ash concrete, thereby reducing dependence on natural sand resources. The findings indicate that at a high fly ash replacement level (30%), the concrete not only maintains satisfactory compressive and tensile strength but also mitigates the drawbacks associated with saline sand. Mix designs were developed by partially replacing cement with fly ash while utilizing blended sand consisting of manufactured sand and saline sand. Experimental investigations on compressive strength, splitting tensile strength, and durability under aggressive environments were conducted. Results show that concrete incorporating saline sand achieved compressive strengths of 56.12 MPa at 28 days and 75.70 MPa at 180 days, with corresponding splitting tensile strengths of 4.85 MPa and 6.08 MPa, which are comparable to or higher than those of conventional concrete. This research highlights the effective utilization of locally available fly ash and saline sand, which not only addresses the shortage of construction materials but also contributes to reducing CO_2 emissions in infrastructure development within the Mekong Delta region.

Keywords: Fly ash concrete, Saline sand concrete, Sustainable concrete, Mekong Delta.

MÔ HÌNH LƯỚI MÔ PHỎNG TRUYỀN NHIỆT TRONG BÊ TÔNG

Nguyễn Lê Đạt[1,*], Phạm Đức Thọ[2], Đặng Trung Thành[2]
[1]Tập đoàn Công nghiệp - Viễn thông Quân đội
[2]Trường Đại học Mỏ - Địa chất
**Tác giả liên hệ: Email: nguyenledat@gmail.com*

Tóm tắt

Bài viết trình bày mô phỏng truyền nhiệt trong bê tông thông qua thí nghiệm sử dụng lò nung điện, được thực hiện nhằm kiểm chứng độ chính xác của mô hình truyền nhiệt phi tuyến. Mẫu bê tông hình trụ được nung đến 1200°C, đo nhiệt độ bằng cảm biến tại nhiều độ sâu khác nhau. Kết quả mô phỏng cho thấy sự phân bố nhiệt độ theo chiều sâu có xu hướng giảm dần, và mô hình truyền nhiệt phi tuyến cho kết quả khá sát với thực nghiệm, đặc biệt ở giai đoạn đầu.

***Từ khóa**:* Truyền nhiệt; mô hình phi tuyến; bê tông; mô phỏng; thí nghiệm.

1. Đặt vấn đề

Ứng xử của bê tông trong điều kiện nhiệt độ cao là một vấn đề trọng yếu trong thiết kế cũng như trong đánh giá độ an toàn của các công trình giao thông ngầm. Khi xảy ra sự cố hỏa hoạn trong đường hầm, kết cấu bê tông phải chịu đồng thời tác động của trường nhiệt độ tăng cao và tải trọng cơ học [1,2]. Sự kết hợp này có thể dẫn đến các hiện tượng suy giảm cường độ, nứt tách, bong tróc bề mặt, thậm chí phá hủy cục bộ hoặc toàn bộ kết cấu. Những hư hỏng này không chỉ làm mất khả năng chịu lực của công trình mà còn gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến an toàn giao thông và công tác cứu hộ, cứu nạn [4,5,6,7,8]. Chính vì vậy, việc mô phỏng quá trình truyền nhiệt và phân tích tương tác cơ – nhiệt trong bê tông có ý nghĩa đặc biệt quan trọng. Thông qua các mô hình mô phỏng, các kỹ sư có thể dự báo sự phân bố nhiệt độ, ứng suất – biến dạng trong kết cấu theo thời gian, từ đó đề xuất các giải pháp thiết kế, lựa chọn vật liệu, cũng như biện pháp bảo vệ nhằm nâng cao khả năng chịu lửa và đảm bảo độ bền vững của công trình ngầm..

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

Trong mô hình tổ hợp nhiệt - cơ, bê tông được rời rạc thành 2 hệ lưới: phần tử Delaunay mô phỏng cơ học và phần tử Voronoi mô phỏng truyền nhiệt [3,9,10,11]. Sự tương tác giữa hai trường vật lý này thể hiện qua các thông số truyền nhiệt và hệ số giãn nở nhiệt. Phần mềm lập trình mô phỏng số được sử dụng để xây dựng mô hình và kiểm nghiệm bằng thí nghiệm thực tế.

3. Kết quả và thảo luận

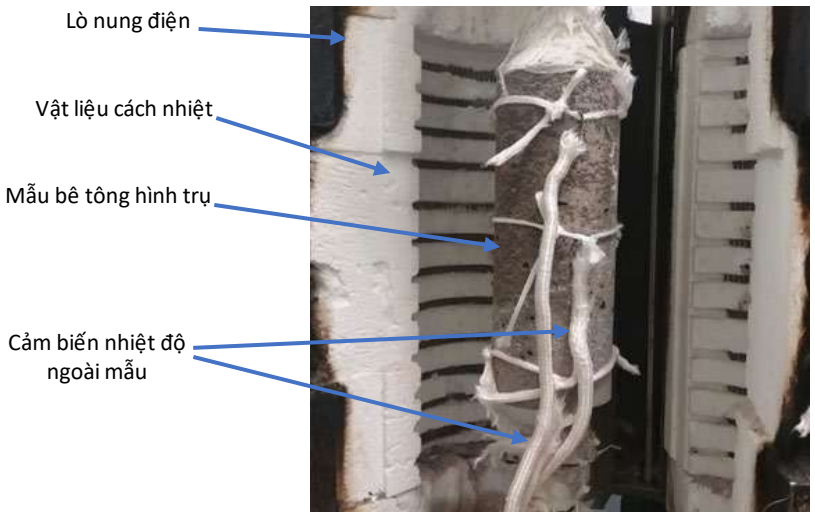
3.1 Mô phỏng thí nghiệm truyền nhiệt trong bê tông

Thí nghiệm truyền nhiệt được thực hiện trên hệ thiết bị đồng bộ bao gồm lò nung điện hình trụ cao 40 cm, đường kính trong 10 cm và ngoài 27,5 cm, có thể đạt nhiệt độ tới 1200°C với tốc độ gia nhiệt 300°C/phút. Ngoài ra, máy còn được kết nối với một hệ thống đo lường để liên kết với cảm biến nhiệt độ được bố trí trong và ngoài mẫu bê tông. Máy thí nghiệm, lò điện, cảm biến nhiệt độ được điều khiển và kiểm soát bởi chương trình trên máy tính. Toàn bộ các dữ liệu liên quan đều được ghi lại (2 lần/1 giây) thành các tập dữ liệu để phục vụ cho công tác xử lý kết quả. Hình 1 dưới đây mô tả cách bố trí thí nghiệm truyền nhiệt trong mẫu bê tông xi măng. Hệ thống được điều khiển bằng máy tính.

Các tham số của mô hình được giới thiệu trong Bảng 1.

Bảng 1. *Các tham số mô hình truyền nhiệt*

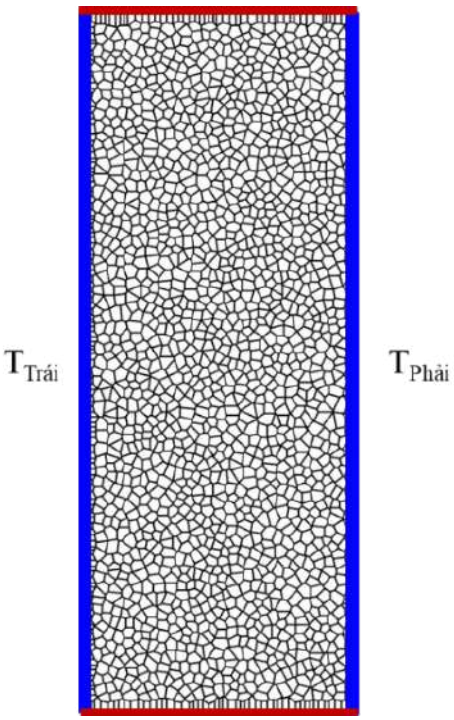
	λ_0 (W/(m.^oC)	C_0 (J/(kg. ^oC))	A_k [K^{-1}]	A_c [K^{-1}]
Bê tông	1.2	1000	- 0.0002	0.0001



Hình 1. Bố trí thí nghiệm truyền nhiệt trong mẫu bê tông hình trụ

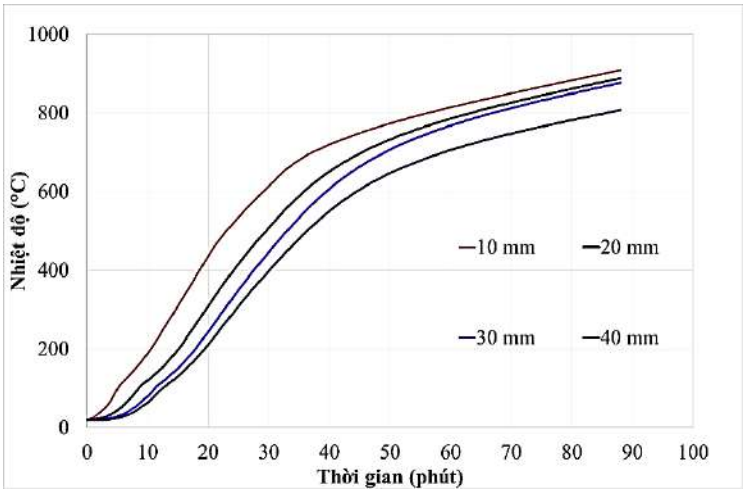
Các điều kiện ban đầu và điều kiện biên dùng trong mô phỏng được áp như sau:

- *Điều kiện ban đầu*: Trạng thái ban đầu của mẫu ở nhiệt độ T_0=25^{0}C
- *Điều kiện biên*: Nhiệt độ của mặt ngoài mẫu được tăng lên theo thời gian như kết quả thực nghiệm. Sự đối lưu nhiệt giữa mẫu và môi trường là không đáng kể vì nhiệt độ trong lò điện gần như đồng nhất. Nhiệt lượng truyền đi tại mặt cắt giữa mẫu bằng không vì nó có tính đối xứng tại mặt cắt này.



Hình 2. Hình học và điều kiện biên

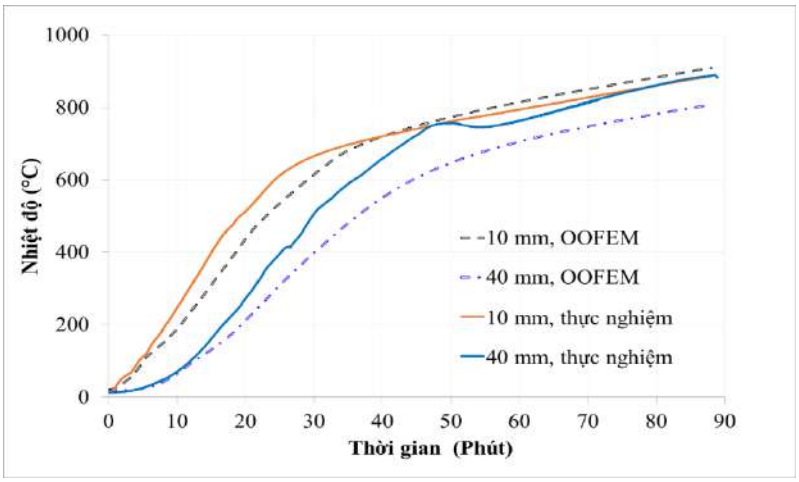
3.2 Phân bố nhiệt độ theo chiều sâu



Hình 3. Sự thay đổi nhiệt độ theo thời gian trong bê tông tại các chiều sâu

Hình 3 biểu diễn sự thay đổi của nhiệt độ theo thời gian ở các vị trí có chiều sâu lần lượt là 10, 20, 30, 40 mm tính từ từ mặt gia nhiệt. Kết quả mô phỏng cho thấy sự phân bố nhiệt trong mẫu bê tông có xu hướng giảm dần theo chiều sâu từ mặt gia nhiệt vào trong. Tại các điểm sâu hơn, tốc độ tăng nhiệt độ giảm rõ rệt. Sự chênh lệch giữa nhiệt độ tại bề mặt và trọng tâm mẫu lên tới khoảng 100°C vào cuối thời điểm mô phỏng. Điều này cho thấy khả năng cách nhiệt tốt của bê tông khối lớn và tính phi tuyến trong lan truyền nhiệt.

3.3 So sánh kết quả mô phỏng và thực nghiệm



Hình 4. So sánh mô phỏng và thực nghiệm tại các chiều sâu

Hình 4 cho thấy sự so sánh giữa hai kết quả thực nghiệm và mô phỏng số liên quan đến sự gia tăng nhiệt độ theo thời gian. Theo Hình 4, có thể thấy sử dụng mô hình truyền nhiệt phi tuyến có thể mô phỏng nhiệt độ trong lò điện. Sự tăng nhiệt độ theo thời gian ở mặt ngoài mẫu gần như sát nhau giữa hai kết quả thực nghiệm và mô phỏng số. Đối với nhiệt độ tại trọng tâm mặt cắt, có thể quan sát thấy nhiệt độ tăng tương tự nhau giữa hai đường cong thực nghiệm và mô phỏng số khi nhiệt độ dưới 100 °C. Ở nhiệt độ cao hơn (trên 100 °C), có sự chênh lệch giữa hai đường cong này, ngày càng được mở rộng cho đến thời điểm xảy ra sự đồng nhất nhiệt độ trong mẫu bê tông. Có thể giải thích sự chênh lệch này bởi ảnh hưởng của sự xuất hiện vết nứt dọc mẫu đến quá trình truyền nhiệt trong mẫu. Khi nhiệt độ vượt ngưỡng này, đường cong mô phỏng có xu hướng sai khác tăng dần so với thực nghiệm.

3.4. Ảnh hưởng của nứt đến quá trình truyền nhiệt

Nguyên nhân chính gây sai khác giữa mô phỏng và thực nghiệm ở nhiệt độ cao là do trong thực tế đã xuất hiện các vết nứt trong mẫu bê tông. Các vết nứt này ảnh hưởng đáng kể đến tốc độ và hướng truyền nhiệt, đặc biệt là khi nhiệt độ cao gây giãn nở và phá vỡ cấu trúc vi mô vật liệu. Trong mô hình chưa xét đến yếu tố nứt, do đó sai lệch này là hợp lý và chỉ ra hướng cải tiến mô hình trong tương lai.

4. Kết luận

Ứng xử của bê tông dưới nhiệt độ cao là tổ hợp ứng xử phức tạp liên quan đến tính truyền nhiệt của loại vật liệu này. Các tính chất truyền nhiệt phụ thuộc vào nhiệt độ và trạng thái phá hủy của kết cấu khi chịu hỏa hoạn.

Mô hình số truyền nhiệt phi tuyến đã mô phỏng thành công quá trình truyền nhiệt trong bê tông khi chịu nhiệt độ cao. Kết quả mô phỏng phù hợp với thực nghiệm trong đa số trường hợp, đặc biệt là giai đoạn đầu gia nhiệt. Việc sử dụng lưới phần tử kết hợp Delaunay và Voronoi giúp mô phỏng được cả cơ học và nhiệt học trong một khung mô hình thống nhất.

Mô hình này là nền tảng cho việc nghiên cứu sâu hơn về tương tác cơ - nhiệt trong kết cấu bê tông chịu hỏa hoạn, đặc biệt cho các công trình ngầm như đường hầm giao thông.

Tài liệu tham khảo

Z. P. Bazant and M. F. Kaplan, Concrete at High Temperatures: Material Properties and Mathematical Models. Longman, 1996.

J. Mazars, “Application de la mécanique de l’endommagement au comportement non linéaire et la rupture du béton de structure,” Université Pièrre et Marie Curie - Paris 6, France, 1984. Accessed: Nov. 27, 2017. [Online]. Available: https://trid.trb.org/view/1032710

P. Grassl, “A lattice approach to model flow in cracked concrete,” Cem. Concr. Compos., vol. 31, no. 7, pp. 454-460, Aug. 2009, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2009.05.001.

A. Menou, Etude du comportement thermomécanique des bétons à haute température. : Approche multi échelles de l’endommagement thermique. Pau, 2004. Accessed: Apr. 08, 2019. [Online]. Available: http://www.theses.fr/2004PAUU3001

Mindess, S, Young, J. F, and Darwin, D, “Concrete, 2e edition, Peaeson education, s.l.: s.n.,” 2003.

V. thai Nguyen, “Comportement des bétons ordinaire et à hautes performances soumis à haute température : application à des éprouvettes de grandes dimensions.,” These de doctorat, Cergy-Pontoise, 2013. Accessed: Jul. 23, 2021. [Online]. Available: https://www.theses. fr/2013CERG0633

V. Kodur, “Properties of concrete at elevated temperatures,” ISRN Civ. Eng., vol. 2014, 2014.

Zhi Xing, Anne-Lise Beaucour, Ronan Hebert, Albert Noumowe, and Béatrice Ledesert, “Influence of the nature of aggregates on the behaviour of concrete subjected to elevated temperature,” Cem. Concr. Res., vol. 41, no. 4, pp. 392-402, Apr. 2011.

E. Schlangen and J. G. M. van Mier, “Simple lattice model for numerical simulation of fracture of concrete materials and structures,” Mater. Struct., vol. 25, no. 9, pp. 534-542, Nov. 1992, doi: 10.1007/BF02472449.

R. Ince, A. Arslan, and B. L. Karihaloo, “Lattice modelling of size effect in concrete strength,”

G. Voronoi, “Nouvelles applications des paramètres continus à la théorie des formes quadratiques. Deuxième mémoire. Recherches sur les parallélloèdres primitifs.,” J. Für Reine Angew. Math., vol. 134, pp. 198-287, 1908.

Lattice model for simulating heat transfer in concrete

Nguyen Le Dat[1,*] , Pham Duc Tho[2], Dang Trung Thanh[2]
[2]*Viettel Group*
[2]*Hanoi University of Mining and Geolgy*
**Corresponding author: Email: nguyenledat@gmail.com*

Abstract

The paper presents a simulation of heat transfer in concrete through an experiment using an electric furnace, conducted to verify the accuracy of the nonlinear heat transfer model. A cylindrical concrete specimen was heated up to 1.200 °C, with temperature measured by sensors at various depths. The simulation results show that the temperature distribution decreases with depth, and the nonlinear heat transfer model provides results that closely match the experimental data, especially in the initial stage.

Keywords: Heat transfer; Nonlinear model; Concrete; Simulation; Experiment.

NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ IoT TRONG KIỂM SOÁT VÀ GIÁM SÁT BIẾN DẠNG KẾT CẤU BÊ TÔNG

Nguyễn Duyên Phong[1,3,*], Uông Quang Tuyến[2], Trần Tuấn Minh[1,3], Đặng Trung Thành[1,3]

[1]Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mỏ - Địa chất

[2]Khoa Cơ điện, Trường Đại học Mỏ - Địa chất

[3]Nhóm nghiên cứu mạnh Xây dựng hầm và Không gian ngầm (TUS)

[*]Tác giả liên hệ: Email: nguyenduyenphong@humg.edu.vn

Tóm tắt

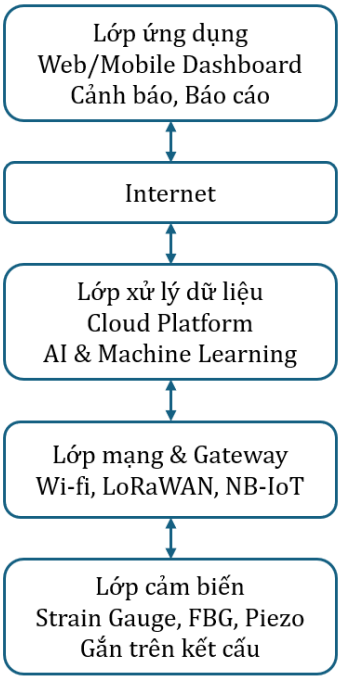
Biến dạng (do co ngót, từ biến, nhiệt độ và tải trọng) là một trong những nguyên nhân chính dẫn đến nứt và suy giảm độ bền lâu dài của kết cấu bê tông. Các phương pháp giám sát truyền thống thường tốn kém, không liên tục và thiếu khả năng cảnh báo sớm. Bài báo giới thiệu việc thực hiện một nghiên cứu tổng quan nhằm đánh giá khả năng ứng dụng của công nghệ Internet vạn vật (IoT) như một giải pháp cách mạng cho bài toán kiểm soát biến dạng kết cấu bê tông và bê tông cốt thép. Mục đích chính của nghiên cứu là tập trung phân tích ba khía cạnh chính: (*i*) Hệ thống các cảm biến không dây tiên tiến (như strain sensor, FBG, cảm biến áp điện trở) cho phép thu thập dữ liệu biến dạng với độ chính xác cao; (*ii*) Kiến trúc mạng và giao thức truyền thông (như LoRaWAN, NB-IoT, Wi-Fi) phù hợp cho môi trường công trường xây dựng; và (*iii*) Các nền tảng đám mây và thuật toán phân tích dữ liệu lớn cho phép xử lý, lưu trữ và diễn giải dữ liệu theo thời gian thực, hướng tới bảo trì dự đoán. Kết quả tổng quan từ các nghiên cứu tiêu biểu trên thế giới cho thấy công nghệ IoT không chỉ khả thi mà còn mang lại hiệu quả vượt trội về tính tự động hóa, độ chính xác và khả năng giám sát liên tục, mở ra một kỷ nguyên mới trong quản lý kết cấu bền vững và thông minh.

Từ khóa: IoT, giám sát biến dạng, bê tông, cảm biến không dây, bảo trì dự đoán, xử lý dữ liệu đám mây.

1. Đặt vấn đề

Bê tông là vật liệu xây dựng phổ biến nhất trên toàn thế giới, nhưng các kết cấu bê tông thường xuyên phải đối mặt với hiện tượng biến dạng theo thời gian. Các biến dạng này, bắt nguồn từ quá trình co ngót, từ biến, sự thay đổi nhiệt độ và tác động của tải trọng, là tiền đề dẫn đến sự hình thành vết nứt, làm giảm khả năng chịu lực, độ bền và tuổi thọ công trình (Aïtcin, P. C., 2000) [1]. Việc giám sát chính xác và liên tục các biến dạng là vô cùng quan trọng để đánh giá sức khỏe kết cấu, đưa ra các cảnh báo sớm và lập kế hoạch bảo trì kết cấu và công trình một cách kịp thời và có hiệu quả. Các phương pháp giám sát truyền thống (sử dụng thiết bị đo cơ học hoặc điện tử có dây) tồn tại nhiều hạn chế: chi phí lắp đặt và bảo trì cao, hệ thống dây dẫn phức tạp, yêu cầu nhân sự vận hành tại chỗ và chỉ cung cấp dữ liệu tại các thời điểm rời rạc, không nắm bắt được diễn biến đầy đủ của biến dạng (Lynch, J. P et al.,2006) [2]. Trong bối cảnh đó, cuộc cách mạng công nghiệp 4.0 với sự phát triển vượt bậc của công nghệ Internet of Things (IoT) đã mở ra một hướng tiếp cận đột phá. Bài báo này thực hiện một nghiên cứu tổng quan để hệ thống hóa các thành tựu, đánh giá tiềm năng và thách thức trong việc ứng dụng công nghệ IoT vào việc kiểm soát và giám sát biến dạng bê tông.

2. Tổng quan về hệ thống IoT giám sát biến dạng



Hình 1. Kiến trúc tổng quan một hệ thống IoT giám sát biến dạng kết cấu điển hình

Một hệ thống IoT hoàn chỉnh cho giám sát biến dạng thường được cấu thành từ 4 lớp chính [3] như Hình 1.

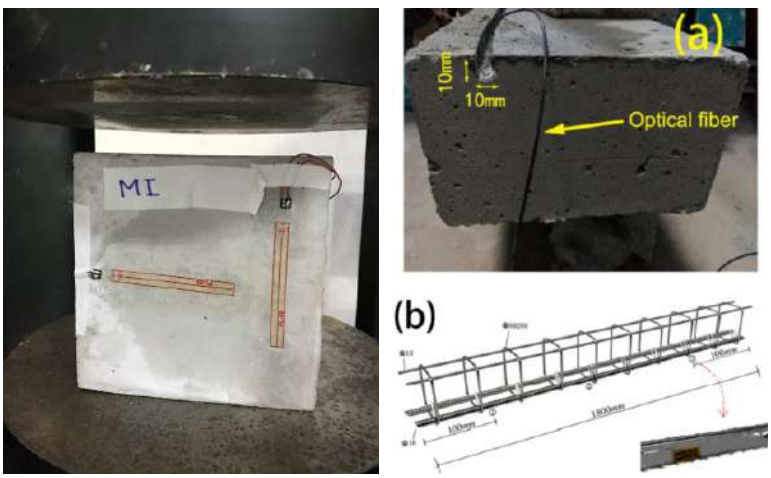
2.1 Lớp cảm biến (Perception Layer)

Đây là lớp tiếp xúc trực tiếp với kết cấu, đóng vai trò thu thập dữ liệu. Các loại cảm biến tiên tiến được ứng dụng bao gồm:

Cảm biến biến dạng điện trở (Strain Gauge): Là công nghệ phổ biến, giá thành hợp lý, yêu cầu bộ khuếch đại tín hiệu (ví dụ HX711) để số hóa [4].

Cảm biến sợi quang (Fiber Bragg Grating - FBG): Ưu điểm vượt trội về độ chính xác cao, khả năng chống nhiễu điện từ và ăn mòn, phù hợp cho môi trường khắc nghiệt [5].

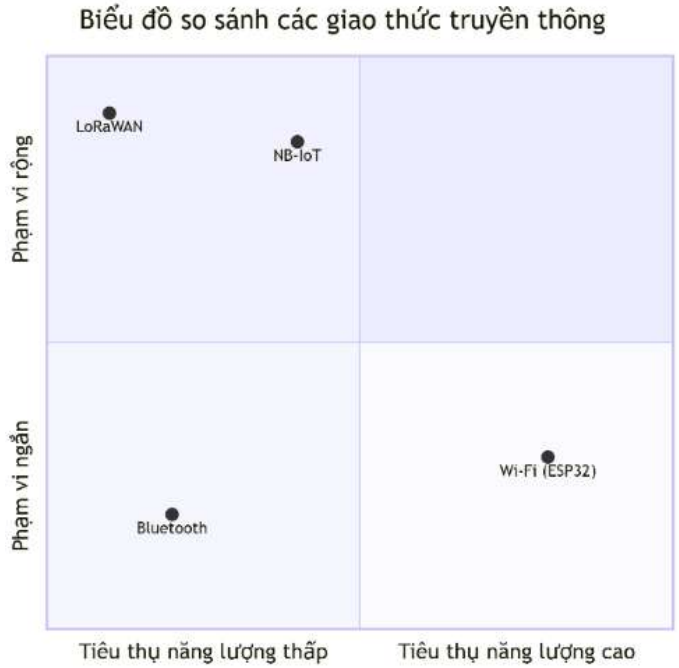
Cảm biến áp điện trở (Piezoelectric sensor): Có khả năng tự cấp năng lượng (energy harvesting) từ rung động của kết cấu, phù hợp cho các ứng dụng lâu dài [6].



Hình 2. (a) Cảm biến strain gauge điện trở gắn trên bề mặt bê tông;
(b) Cảm biến sợi quang FBG được nhúng trong bê tông [7].

2.2 Lớp mạng (Network Layer)

Lớp này có nhiệm vụ truyền tải dữ liệu từ các cảm biến đến gateway và lên internet. Việc lựa chọn giao thức truyền thông phụ thuộc vào phạm vi, tốc độ và năng lượng tiêu thụ. Sơ đồ so sánh được thể hiện trong Hình 3.



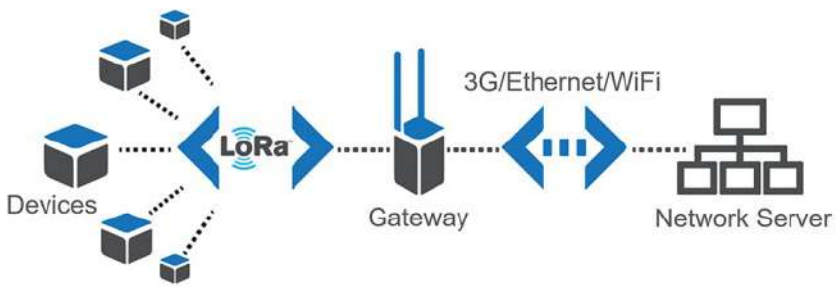
Hình 3. Biểu đồ so sánh các giao thức truyền thông IoT phổ biến dựa trên phạm vi và mức tiêu thụ năng lượng.

Giao thức tầm ngắn (Short-range): Wi-Fi (ESP32), Bluetooth. Phù hợp cho các công trình quy mô nhỏ, có sẵn hạ tầng mạng.

Giao thức diện rộng công suất thấp (LPWAN): Là xu hướng chủ đạo cho giám sát công trình lớn.

LoRaWAN: Ưu điểm là khoảng cách xa (vài km), tiêu thụ năng lượng cực thấp, chi phí triển khai thấp [8] Hình 4.

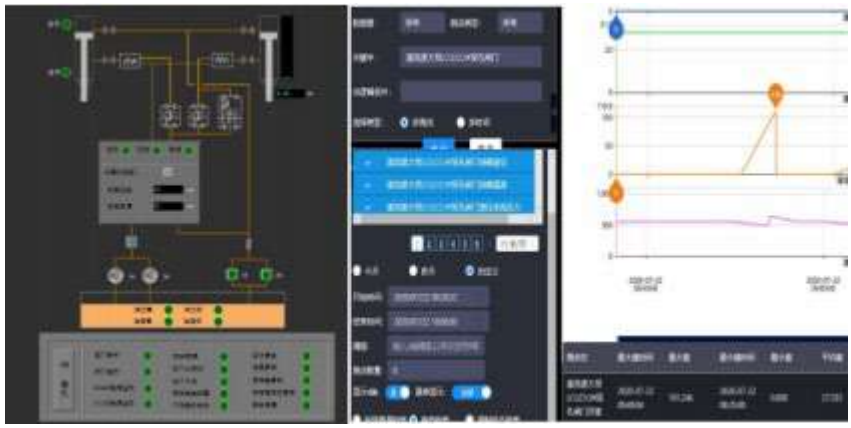
NB-IoT: Vận hành trên mạng di động, độ ổn định và bảo mật cao, phù hợp khu vực đô thị.



Hình 4. Mô hình triển khai mạng LoRaWAN cho một công trường xây dựng lớn, với Gateway thu thập dữ liệu từ các node cảm biến.

2.3 Lớp xử lý dữ liệu (Processing Layer)

Dữ liệu được truyền lên các nền tảng đám mây (Cloud Platform) như AWS IoT, Azure, hoặc ThingSpeak [9]. Tại đây, dữ liệu được lưu trữ, xử lý và áp dụng các thuật toán phân tích để dự báo xu hướng [10]. Kết quả được hiển thị trực quan trên các bảng điều khiển (Dashboard), như minh họa trong Hình 5.



Hình 5. Giao diện dashboard giám sát biến dạng theo thời gian thực trên nền tảng đám mây, hiển thị giá trị cảm biến và cảnh báo vượt ngưỡng [11].

Xác định các ngưỡng cảnh báo biến dạng nguy hiểm.

Dự báo xu hướng biến dạng trong tương lai dựa trên mô hình học máy, hướng tới bảo trì dự đoán.

2.4 Lớp ứng dụng (Application Layer)

Là giao diện tương tác với người dùng (kỹ sư, chủ đầu tư) thông qua Web Dashboard hoặc Ứng dụng di động. Lớp này cung cấp:

Hiển thị dữ liệu biến dạng theo thời gian thực dưới dạng đồ thị, bản đồ nhiệt.

Gửi cảnh báo tự động (email, SMS) khi phát hiện bất thường.

Báo cáo và xuất dữ liệu để phân tích sâu.

3. Tiềm năng và thách thức

3.1 Tiềm năng ứng dụng

Giám sát liên tục, theo thời gian thực: Theo dõi 24/7 mọi diễn biến của biến dạng, kể cả trong giai đoạn đổ bê tông và bảo dưỡng quan trọng.

Tự động hóa và giảm chi phí nhân công: Loại bỏ hoàn toàn quy trình đo đạc thủ công, giảm thiểu sai số và rủi ro an toàn lao động.

Bảo trì dự đoán (Predictive Maintenance): Khả năng phân tích dữ liệu lớn giúp dự báo hư hỏng từ sớm, cho phép can thiệp kịp thời, kéo dài tuổi thọ công trình và tối ưu hóa chi phí vòng đời [10].

Nâng cao tính minh bạch: Cung cấp dữ liệu khách quan, liên tục cho tất cả các bên liên quan, giúp quản lý dự án hiệu quả hơn.

3.2 Thách thức và hướng nghiên cứu tương lai

Vấn đề năng lượng: Các node cảm biến đặt ngoài trời cần có nguồn điện ổn định. Hướng nghiên cứu tập trung vào các giải pháp thu năng lượng (energy harvesting) từ môi trường (ánh sáng, rung động, chênh lệch nhiệt độ) [6].

Độ bền và ổn định của cảm biến: Cảm biến cần được bảo vệ để chống chịu được với môi trường xây dựng khắc nghiệt (ẩm ướt, va đập, kiềm hóa trong bê tông).

Chuẩn hóa và tích hợp hệ thống: Cần có các tiêu chuẩn chung để các thiết bị từ nhiều nhà cung cấp khác nhau có thể giao tiếp và tích hợp liền mạch với nhau.

Bảo mật dữ liệu: Dữ liệu kết cấu là thông tin nhạy cảm, đòi hỏi các giao thức mã hóa và bảo mật mạnh mẽ để chống lại các cuộc tấn công mạng.

4. Kết luận

Nghiên cứu tổng quan này đã chỉ ra rằng công nghệ IoT hoàn toàn có tiềm năng cách mạng hóa lĩnh vực kiểm soát và giám sát biến dạng kết cấu bê tông. Với sự kết hợp của các cảm biến thông minh, mạng truyền thông tiết kiệm năng lượng và nền tảng phân tích dữ liệu đám mây, hệ thống IoT mang lại một giải pháp toàn diện, tự động và hiệu quả, vượt trội hơn hẳn so với các phương pháp truyền thống. Mặc dù vẫn còn những thách thức về năng lượng, độ bền và chuẩn hóa, nhưng những lợi ích mà IoT mang lại là rất rõ ràng, đặc biệt là khả năng chuyển đổi từ mô hình bảo trì khắc phục sang mô hình bảo trì dự đoán. Điều này không chỉ nâng cao độ an toàn và tuổi thọ công trình mà còn tối ưu hóa chi phí quản lý vận hành trong suốt vòng đời của kết cấu. Các nghiên cứu trong tương lai cần tập trung vào việc phát triển các cảm biến tự cấp năng lượng, tăng cường độ bền và xây dựng các khung tiêu chuẩn để thúc đẩy ứng dụng rộng rãi công nghệ IoT trong ngành xây dựng.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đề tài Khoa học và Công nghệ cấp Cơ sở của Trường Đại học Mỏ - Địa chất, mã số T25-03. Nhóm nghiên cứu xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Mỏ - Địa chất.

Tài liệu tham khảo

Aïtcin, P. C. (2000). Cements of yesterday and today: Concrete of tomorrow. Cement and Concrete Research, 30(9), 1349-1359.

Lynch, J. P., & Loh, K. J. (2006). A summary review of wireless sensors and sensor networks for structural health monitoring. The Shock and Vibration Digest, 38(2), 91-130.

Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. Future Generation Computer Systems, 29(7), 1645-1660.

Omidvari, M., & Nazerpour, H. (2017). Wireless Sensor Networks in Structural Health Monitoring: A Review. Journal of Sensors, 2017.

Li, H. N., Li, D. S., & Song, G. B. (2004). Recent applications of fiber optic sensors to health monitoring in civil engineering. Engineering Structures, 26(11), 1647-1657.

Priya, S., & Inman, D. J. (Eds.). (2009). Energy Harvesting Technologies. Springer.

Shilar, F.A.; Ganachari, S.V.; Patil, V.B.; Yunus Khan, T.M.; Saddique Shaik, A.; Azam Ali, M. (2024). Exploring the Potential of Promising Sensor Technologies for Concrete Structural Health Monitoring. Materials, 17, 2410.

Lavassani, M., Mashhadi, H. R., & Barkhordari, M. (2018). Combined use of LoRa and IoT for monitoring of concrete structures. In Proceedings of the International Conference on Smart Infrastructure and Construction (pp. 559-565).

Mathur, A., & Bhatia, D. (2018). Predictive Analytics using Azure Machine Learning. Apress.

Farrar, C. R., & Worden, K. (2012). Structural Health Monitoring: A Machine Learning Perspective. John Wiley & Sons.

http://vncold.vn/NewsDetails/Index/5204. Ứng dụng các công nghệ giám sát online để vận hành hiệu quả nhà máy và hồ chứa thủy điện (ICOLD Bulletin CL 2026).

Overview research on the possibility of applying iot technology in control and monitoring concrete deformation

Nguyen Duyen Phong[1,3,*], Uong Quang Tuyen[2], Tran Tuan Minh[1,3], Dang Trung Thanh[1,3]
[1]*Faculty of Civil Engineering, Hanoi University of Mining and Geology*
[2]*Faculty of Electrical Engineering, Hanoi University of Mining and Geology*
[3]*Tunnelling and Underground Space, Hanoi University of Mining and Geology*
**Corresponding author: Email: nguyenduyenphong@humg.edu.vn*

Abstract

Deformation (due to shrinkage, creep, temperature and load) is one of the main causes of cracking and deterioration of the durability of concrete structures. Traditional monitoring methods are often expensive, intermittent and lack early warning capabilities. This paper conducts a comprehensive study to evaluate the applicability of Internet of Things (IoT) technology as a revolutionary solution to the problem of concrete deformation control. The paper focuses on analyzing three main aspects: (*i*) Advanced wireless sensor systems (such as strain sensors, FBGs, piezoresistive sensors) that allow for the collection of deformation data with high accuracy; (*ii*) Network architectures and communication protocols (such as LoRaWAN, NB-IoT, Wi-Fi) suitable for construction site environments; and (*iii*) Cloud platforms and big data analytics algorithms that enable real-time data processing, storage and interpretation, towards predictive maintenance. The overall results from typical studies around the world show that IoT technology is not only feasible but also brings outstanding efficiency in terms of automation, accuracy and continuous monitoring capabilities, opening a new era in sustainable and intelligent structure management.

Keywords: IoT, deformation monitoring, concrete, wireless sensors, predictive maintenance, cloud data processing.

VAI TRÒ CỦA KÍCH THƯỚC HẠT CÁT TRONG VIỆC KIỂM SOÁT ĐỘ BÁM DÍNH CỦA SỢI THÉP TRONG BÊ TÔNG

Đặng Văn Phi[1,2*]

[1]*Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

[2]*Nhóm nghiên cứu mạnh (GECS), Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

**Tác giả liên hệ: Email: dangvanphi@humg.edu.vn*

Tóm tắt

Nghiên cứu này tập trung đánh giá vai trò của kích thước hạt cát đối với tính công tác, cường độ nén và khả năng bám dính của sợi thép trong bê tông. Các mẫu bê tông được chế tạo từ hai loại cát có kích thước hạt trung bình lần lượt là 0,1 mm (TH10) và 0,3 mm (TH30). Các thí nghiệm được tiến hành bao gồm đo độ chảy xòe, xác định cường độ nén và thí nghiệm kéo rút sợi thép nhằm phân tích đặc trưng bám dính của sợi thép trong bê tông. Kết quả cho thấy mẫu TH30 có độ chảy xòe lớn hơn (26,00 ± 1,50 mm) so với TH10 (24,50 ± 2,00 mm), phản ánh ảnh hưởng của diện tích bề mặt hạt cát đến tính linh động của bê tông. Ngược lại, mẫu TH10 đạt cường độ nén cao hơn (188,62 ± 2,21 MPa so với 184,59 ± 2,66 MPa của TH30), nhờ khả năng lấp đầy lỗ rỗng và tạo vi cấu trúc đặc chắc của cát hạt mịn trong bê tông. Về khả năng bám dính, TH10 vượt trội với lực kéo cực đại (62,31 N), năng lượng kéo sợi (117,60 N.mm), cường độ bám dính lớn nhất (13,22 MPa) và cường độ bám dính tương đương (9,98 MPa), đều cao hơn so với TH30. Kết quả cho thấy cát hạt mịn không chỉ nâng cao cường độ nén mà còn tăng cường liên kết giữa sợi thép và bê tông, qua đó cải thiện cơ chế truyền ứng suất trong vật liệu bê tông.

***Từ khóa**:* Kích thước hạt cát, độ bám dính, sợi thép, bê tông.

1. Đặt vấn đề

Bê tông cốt sợi thép đã được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi nhằm cải thiện khả năng chịu kéo, kháng nứt và tăng độ bền lâu của kết cấu bê tông [1]. Cơ chế quan trọng quyết định hiệu quả của loại vật liệu này là sự bám dính giữa sợi thép và bê tông, vốn ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng truyền ứng suất và phân tán vết nứt [2]. Trong nhiều thập kỷ qua, các nghiên cứu đã tập trung làm rõ đặc tính cơ học của bê tông cốt sợi thép, bao gồm hình dạng sợi, và hàm lượng sợi, v.v.

Tuy nhiên, một yếu tố ít được chú ý nhưng có vai trò tiềm năng trong việc kiểm soát sự bám dính giữa sợi thép và bê tông là thành phần cốt liệu mịn, đặc biệt là hạt cát. Một số công trình trước đây đã chỉ ra rằng kích thước và sự phân bố của hạt cát có thể ảnh hưởng đến độ đặc chắc của vữa xi măng và từ đó tác động đến cơ chế kéo trượt tại bề mặt tiếp xúc giữa sợi và bê tông [3, 4]. Dù vậy, các bằng chứng thực nghiệm còn hạn chế và chưa có sự phân tích hệ thống nào để làm rõ vai trò riêng biệt của kích thước hạt cát trong quá trình này. Tác giả Karaca và nnk [4] chỉ ra rằng việc sử dụng cốt liệu thô giúp cải thiện độ chảy, nhưng có nguy cơ gây tách nước; ngược lại, cốt liệu mịn làm giảm hiện tượng tách nước song lại hạn chế độ chảy của bê tông. Tác giả Kang và nnk [5] đã xem xét ảnh hưởng của kích thước hạt cát đến độ đặc chắc của vữa xi măng chứa silica fume, đồng thời đánh giá tác động của nó đến tính chất cơ học và hành vi nứt của vữa xi măng. Kết quả chỉ ra rằng việc sử dụng cát mịn giúp cải thiện đáng kể khả năng chịu kéo và chịu uốn của hỗn hợp vữa xi măng. Tuy nhiên, vai trò của hạt cát trong việc kiểm soát độ bám dính của sợi thép trong bê tông, độ đặc chắc trong cấu trúc của bê tông, và tác động tổng hợp đến khả năng chịu kéo cũng như chịu uốn của bê tông vẫn chưa được đánh giá một cách đầy đủ. Những khoảng trống nghiên cứu trên cho thấy cần thiết phải xem xét trực tiếp ảnh hưởng của kích thước hạt cát đến sự bám dính giữa sợi thép và bê tông. Bằng cách phân tích sự thay đổi đặc tính cơ học của vật liệu khi điều chỉnh tính chất và thành phần cát, nghiên cứu này nhằm xác định cơ chế mà hạt cát tham gia vào việc kiểm soát độ bám dính.

Mục tiêu của bài báo là làm rõ vai trò của hạt cát trong việc tương tác với sợi thép và bê tông, từ đó góp phần đề xuất định hướng thiết kế hỗn hợp bê tông tối ưu hơn về độ bền liên kết. Kết quả dự kiến sẽ đóng góp thêm bằng chứng khoa học về mối quan hệ giữa cốt liệu mịn và khả năng làm việc của bê tông cốt sợi, đồng thời hỗ trợ việc phát triển các giải pháp vật liệu hiệu quả và bền vững.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

2.1 Vật liệu sử dụng

Thành phần cấp phối được sử dụng trong nghiên cứu này được trình bày chi tiết trong Bảng 1. Để đánh giá ảnh hưởng của kích thước hạt cát đến đặc tính của bê tông, hai loại kích thước hạt cát đã được lựa chọn. Trong đó, hai loại có kích thước trung bình lần lượt là 0,1 mm và 0,3 mm, được xem là đại diện cho nhóm hạt mịn và nhóm hạt thô (Hình 1). Ngoài các đặc tính vật lý, thành phần hóa học của cát cũng được phân tích và trình bày trong Bảng 2. Trên cơ sở đó, hai tổ hợp mẫu thí nghiệm được chế tạo tương ứng với hai loại cát 0,1 mm và 0,3 mm, được ký hiệu lần lượt là TH10 và TH30 để thuận tiện cho việc theo dõi, so sánh và phân tích trong các phần tiếp theo của nghiên cứu.

Bảng 1. *Tỉ lệ thành phần cấp phối của các hỗn hợp theo khối lượng cho 1 m^3 bê tông*

Xi măng (kg)	Cát (kg)	Silica fume (kg)	Bột silica (kg)	Phụ gia siêu dẻo (kg)	Nước (kg)
341,88	376,07	85,47	102,56	25,64	68,38

Bảng 2. *Thành phần hóa học của cát*

Loại cát	Hàm lượng (%)			
	SiO_2	Fe_2O_3	CaO + MgO	Hao hụt (Ig-loss)
Đường kính 0,1 mm	99,00	0,25	0,45	0,30
Đường kính 0,3 mm	98,00	0,45	0,65	0,90

a) Cát đường kính 0,1 mm *b) Cát đường kính 0,3 mm*

Hình 1. Hình ảnh hai loại cát được sử dụng trong nghiên cứu

2.2 Phương pháp thực nghiệm

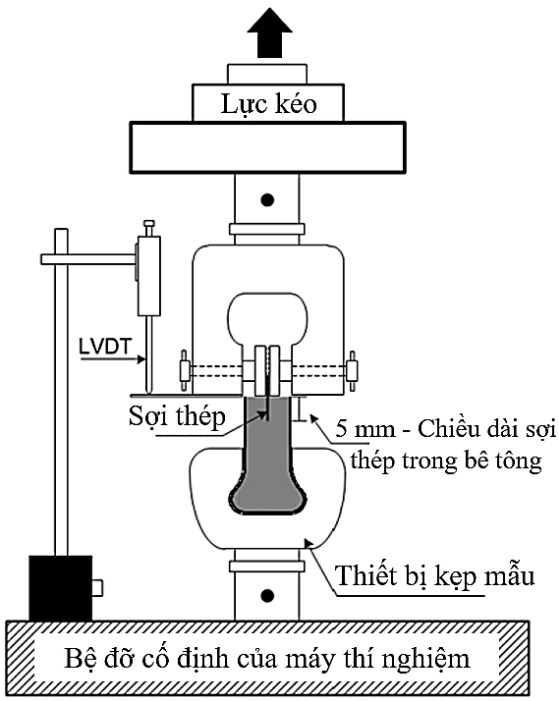
Quy trình chế tạo mẫu được thực hiện như sau: Xi măng, silica fume, bột silica và cát được trộn khô trong 10 phút. Lượng nước yêu cầu được chia thành năm phần và bổ sung dần, mỗi lần cách nhau 1-2 phút, tiếp theo là phụ gia siêu dẻo cũng được thêm từng phần với khoảng thời gian tương tự. Sau khi tháo khuôn, mẫu được bảo dưỡng ở 90 ± 2 °C trong 3 ngày, sau đó bảo quản ở nhiệt độ phòng và tiến hành thí nghiệm sau 28 ngày.

Quy trình kiểm tra tính công tác của hỗn hợp bê tông trong nghiên cứu này được tiến hành theo tiêu chuẩn ASTM C1437 [6]. Bên cạnh đó, các mẫu dùng cho thí nghiệm nén được chế tạo dưới dạng khối lập phương có kích thước 50 × 50 × 50 mm, nhằm đảm bảo sự đồng nhất cũng như tuân thủ các quy định, thí nghiệm nén được thực hiện theo tiêu chuẩn ASTM C109/C109M, với tốc độ gia tải được duy trì ở mức 1,0 mm/phút. Ở điều kiện này, lực nén tác dụng lên mẫu được điều chỉnh để đạt tốc độ khoảng 1000 N/s [7]. Ngoài ra, thí nghiệm kéo rút sợi thép đơn được tiến hành nhằm đánh giá vai trò của hạt cát trong việc chi phối khả năng bám dính của sợi thép trong bê tông (Hình 2). Tốc độ kéo rút được duy trì ở mức 0,0167 mm/s. Mối liên hệ dính kết giữa sợi thép và bê tông được xác định dựa trên công thức sau [3]:

$$\tau_{peak} = \frac{P_{peak}}{\pi . d_f . L_{em}} \quad (1)$$

$$\tau_{eq} = \frac{2PE}{\pi . d_f . L_{em}^2} \quad (2)$$

Trong đó, τ_{peak} là giá trị cường độ bám dính lớn nhất (MPa); P_{peak} là lực kéo lớn nhất (N); d_f là đường kính của sợi thép (mm). L_{em} là chiều dài sợi thép trong bê tông (mm). τ_{eq} là cường độ bám dính tương đương (MPa); PE là năng lượng kéo sợi (N.mm).



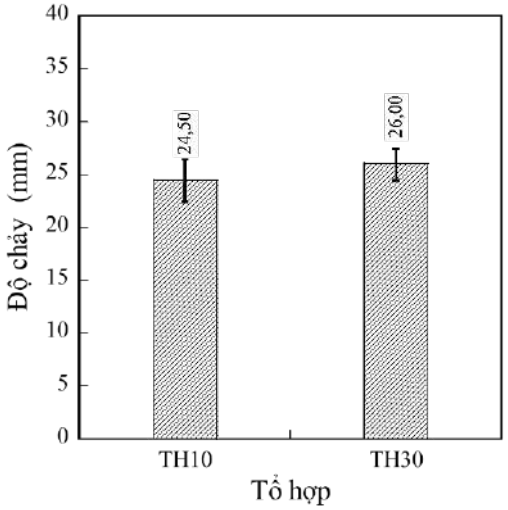
Hình 2. Thí nghiệm xác định cường độ bám dính của sợi thép trong bê tông [3]

3. Kết quả và thảo luận

3.1 Tính công tác của bê tông

Hình 3 trình bày kết quả thí nghiệm tính công tác của bê tông khi sử dụng hai loại cát có kích thước hạt trung bình khác nhau. Kết quả cho thấy mẫu sử dụng hạt cát thô hơn TH30 (cát 0,3 mm) có độ chảy xòe lớn hơn so với mẫu dùng cát mịn TH10 (cát 0,1 mm). Cụ thể, tổ hợp TH10 đạt giá trị độ chảy xòe trung bình 24,50 ± 2,00 mm, trong khi tổ hợp TH30 đạt 26,00 ± 1,50 mm. Điều này có thể được giải thích bởi ảnh hưởng của tỷ lệ diện tích bề mặt hạt cát: cát mịn (0,1 mm) có diện tích bề mặt riêng lớn hơn, dẫn đến nhu cầu lượng nước để bao phủ hạt cao hơn, từ đó làm

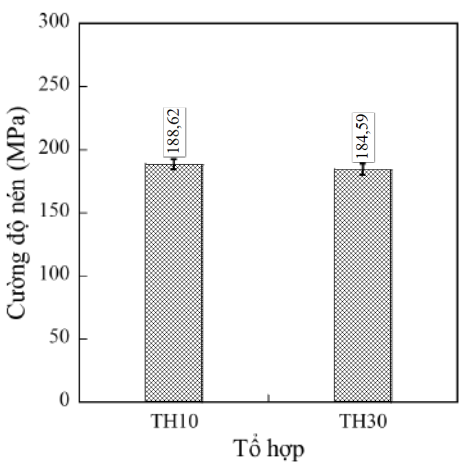
giảm tính linh động của hỗn hợp. Ngược lại, khi dùng cát có kích thước lớn hơn (0,3 mm), nhu cầu lượng nước giảm, giúp hỗn hợp dễ dàng dịch chuyển và chảy xòe hơn. Kết quả này nhất quán với các nghiên cứu trước về vai trò của kích thước cốt liệu mịn đối với tính công tác của bê tông [4,8–10]. Tác giả Kruger và nnk chỉ ra rằng sự gia tăng diện tích bề mặt riêng nhờ bổ sung vật liệu mịn đã tạo điều kiện cho quá trình hấp phụ vật lý của các phân tử nước trên bề mặt lớn hơn, làm giảm độ chảy của hỗn hợp [8].



Hình 3. Tính công tác của các tổ hợp

3.2 Cường độ chịu nén của bê tông

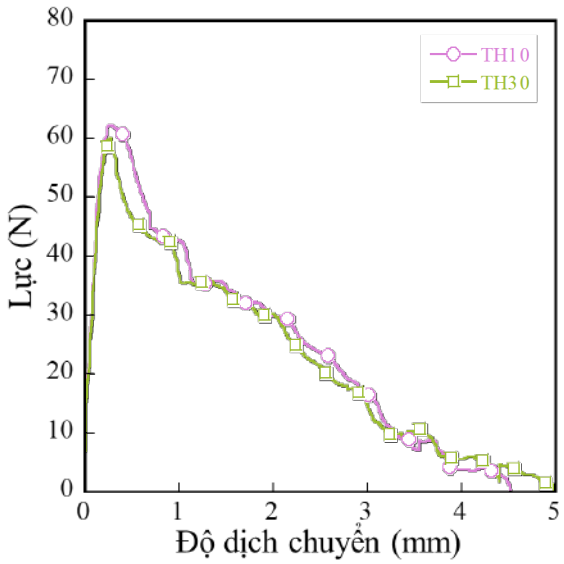
Cường độ nén trung bình của tổ hợp TH10 đạt 188,62 ± 2,21 MPa, cao hơn so với 184,59 ± 2,66 MPa của TH30 (Hình 4). Xu hướng rõ ràng rằng cát có kích thước hạt nhỏ hơn giúp cải thiện đáng kể khả năng chịu nén của bê tông. Nguyên nhân có thể lý giải là do cát mịn (0,1 mm) có khả năng lấp đầy các lỗ rỗng trong cấu trúc của bê tông tốt hơn, làm giảm độ rỗng tổng thể và tăng mức độ đặc chắc của bê tông. Điều này dẫn đến sự hình thành vi cấu trúc đồng nhất, hạn chế sự tập trung ứng suất và cải thiện khả năng truyền tải trọng trong bê tông. Trong khi đó, việc sử dụng cát có kích thước lớn hơn (0,3 mm) làm giảm mức độ đặc chắc của bê tông, tạo điều kiện xuất hiện nhiều vi vết nứt sớm hơn khi bê tông chịu tải nén. Kết quả này phù hợp với nghiên cứu của Kang và cộng sự [11], trong đó khẳng định rằng việc sử dụng cát hạt mịn làm tăng diện tích bề mặt phản ứng của cốt liệu giàu silic, thúc đẩy mạnh mẽ quá trình pozzolan, qua đó tạo ra sản phẩm C–S–H đặc chắc hơn và cải thiện đáng kể cường độ nén của vữa. Tuy nhiên, để có cái nhìn toàn diện hơn, các nghiên cứu tiếp theo nên kết hợp phân tích vi mô, hình thái và cấu trúc bề mặt, v.v., nhằm làm rõ mối quan hệ giữa phân bố hạt mịn, cấu trúc vùng chuyển tiếp và cường độ nén thực tế của bê tông.



Hình 4. Cường độ nén của các tổ hợp

3.3 Cường độ bám dính trong bê tông

Hình 5 trình bày mối liên hệ giữa lực kéo và độ dịch chuyển của sợi thép trong bê tông, qua đó làm cơ sở tính toán các đặc trưng cơ học của sợi theo công thức (1) và (2). Bảng 3 trình bày kết quả thí nghiệm về lực kéo lớn nhất, năng lượng kéo sợi, cường độ bám dính, và cường độ bám dính tương ứng của hai tổ hợp mẫu bê tông khi sử dụng cát có kích thước hạt khác nhau. Kết quả cho thấy tổ hợp TH10 đạt lực kéo lớn nhất (P_{peak}) là 62,31 N, cao hơn so với 60,00 N của tổ hợp TH30. Điều này được giải thích là do cát có kích thước hạt nhỏ giúp lấp đầy các lỗ rỗng trong bê tông, tạo nên môi trường đồng nhất và liên kết bền chặt hơn giữa hồ xi măng và bề mặt sợi thép.



Hình 5. Lực-độ dịch chuyển của sợi thép trong bê tông

Bảng 3. *Đặc trưng bám dính của sợi thép trong bê tông*

Tổ hợp	P_{peak} (N)	PE (N.mm)	τ_{peak} (MPa)	τ_{eq} (MPa)
TH10	62,31	117,60	13,22	9,98
TH30	60,00	112,57	12,73	9,55

Về năng lượng kéo sợi (PE), mẫu TH10 cũng đạt giá trị cao hơn với 117,60 N.mm, trong khi TH30 chỉ đạt 112,57 N.mm. Giá trị PE lớn cho thấy trong quá trình kéo, bê tông với cát mịn có khả năng tiêu tán năng lượng tốt hơn, nhờ vào sự phát triển của nhiều vi vết nứt nhỏ và cơ chế ma sát bề mặt hiệu quả hơn. Đây là yếu tố quan trọng, vì năng lượng tiêu tán càng lớn thì khả năng chống nứt và độ dẻo dai của bê tông càng được cải thiện [12]. Đối với cường độ bám dính lớn nhất (τ_{peak}), TH10 đạt 13,22 MPa, vượt trội hơn so với 12,73 MPa của TH30. Giá trị τ_{peak} cao chứng tỏ lực bám dính cực đại tại bề mặt sợi thép và bê tông trong trường hợp dùng cát hạt mịn là lớn hơn. Kết quả này phù hợp với quan sát ở thông số lực kéo cực đại, củng cố nhận định rằng kích thước cát hạt mịn làm tăng diện tích tiếp xúc và mức độ đồng nhất của lớp chuyển tiếp giữa bề mặt sợi thép và bê tông. Hơn nữa, cường độ bám dính tương đương (τ_{eq}) cũng phản ánh xu hướng tương tự, với TH10 đạt 9,98 MPa, cao hơn 4,5% so với TH30 (9,55 MPa). Thông số τ_{eq} được coi là đại diện cho khả năng truyền ứng suất hiệu quả trong toàn bộ chiều dài bám dính của sợi thép. Do đó, giá trị cao hơn ở mẫu TH10 cho thấy sự cải thiện rõ rệt trong cơ chế truyền lực từ bê tông sang sợi thép khi sử dụng cát mịn. Tuy nhiên, mức độ chênh lệch giữa hai trường hợp là tương đối nhỏ, cho thấy ảnh hưởng của cát chỉ là một trong nhiều yếu tố tác động đến đặc tính bám dính. Các yếu tố khác như tỷ lệ phối trộn, hình học và phân bố sợi, hoặc mức độ tương tác hóa học giữa hồ xi măng và bề mặt sợi cũng cần được xem xét trong các nghiên cứu tiếp theo.

4. Kết luận

Nghiên cứu này tập trung phân tích ảnh hưởng của kích thước hạt cát đến tính công tác, cường độ nén và khả năng bám dính của sợi thép trong bê tông. Trong nghiên cứu này, hai loại cát có kích thước hạt trung bình lần lượt là 0,1 mm và 0,3 mm. Từ kết quả nghiên cứu, có thể rút ra một số kết luận chính như sau:

+ Cát hạt mịn (0,1 mm) làm giảm tính công tác, trong khi cát hạt thô (0,3 mm) tăng độ chảy xoè; do đó, việc lựa chọn cỡ hạt cát cần được cân nhắc nhằm đảm bảo tính công tác phù hợp cho bê tông.

+ Việc sử dụng cát hạt mịn giúp cải thiện vi cấu trúc, giảm độ rỗng và mang lại cường độ nén cao hơn so với cát hạt thô, qua đó khẳng định vai trò quan trọng của kích thước hạt cát đối với tính chất cơ học của bê tông.

+ Kết quả cho thấy cát hạt mịn giúp cải thiện khả năng bám dính hơn so với cát hạt thô. Tuy nhiên, mức chênh lệch nhỏ, cho thấy cần xem xét thêm các yếu tố khác như tỷ lệ phối trộn, hình học và phân bố sợi, cũng như tương tác hóa học giữa sợi thép và bê tông trong các nghiên cứu tiếp theo.

Tài liệu tham khảo

D.Y. Yoo, Y.S. Yoon, A Review on Structural Behavior, Design, and Application of Ultra-High-Performance Fiber-Reinforced Concrete, Int. J. Concr. Struct. Mater. 10 (2016) 125–142. https://doi.org/10.1007/s40069-016-0143-x.

J.K. Park, T.T. Ngo, D.J. Kim, Interfacial bond characteristics of steel fibers embedded in cementitious composites at high rates, Cem. Concr. Res. 123 (2019) 105802. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105802.

J.K. Park, S.H. Park, D.J. Kim, Effect of matrix shrinkage on rate sensitivity of the pullout response of smooth steel fibers in ultra-high-performance concrete, Cem. Concr. Compos. 94 (2018) 226–237. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.09.014.

H. Karaca, K. Tekin, S.B. Keskin, Ö.K. Keskin, Effects of particle size optimization of quartz sand on rheology and ductility of engineered cementitious composites, Rev. La Constr. 21 (2022) 447–460.

S.H. Kang, T.H. Ahn, D.J. Kim, Effect of grain size on the mechanical properties and crack formation of HPFRCC containing deformed steel fibers, Cem. Concr. Res. 42 (2012) 710–720. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2012.02.011.

ASTM International, Standard test method for slump of hydraulic cement concrete, ASTM C1437 (1993) 15–16.

ASTM International, Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars, ASTM C109/C109M-23 04 (1993) 1–7.

P. Kruger, P. Serbai, A.S.A. Chinelatto, E. Pereira, Influence of particle size distribution of conventional fine aggregate and construction demolition waste aggregate in Portland cement mortar, Ceramica 67 (2021) 269–276. https://doi.org/10.1590/0366-69132021673833035.

V.P. Dang, D.J. Kim, Effects of nanoparticles on the tensile behavior of ultra-high-performance fiber-reinforced concrete at high strain rates, J. Build. Eng. 63 (2023) 105513. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105513.

C. Shi, Z. Wu, J. Xiao, D. Wang, Z. Huang, Z. Fang, A review on ultra high performance concrete: Part I. Raw materials and mixture design, Constr. Build. Mater. 101 (2015) 741–751. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.088.

S.H. Kang, J.J. Kim, D.J. Kim, Y.S. Chung, Effect of sand grain size and sand-to-cement ratio on the interfacial bond strength of steel fibers embedded in mortars, Constr. Build. Mater. 47 (2013) 1421–1430. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.06.064.

A.E. Naaman, Engineered Steel Fibers with Optimal Properties for Reinforcement of Cement Composites, J. Adv. Concr. Technol. 1 (2003) 241–252. https://doi.org/10.3151/jact.1.241.

Role of sand particle size in governing the interfacial adhesion of steel fibers in concrete

Dang Van Phi[1,2,*]

[1]*Hanoi University of Mining and Geolgy, HUMG*

[2]*Research Group of Geotechnical Engineering, Construction Materials and Sustainability, HUMG*

**Corresponding author: Email: dangvanphi@humg.edu.vn*

Abstract

This study focuses on evaluating the role of sand particles in the workability, compressive strength, and interfacial bond performance of steel fibers in concrete. Two types of sand with average particle sizes of 0.1 mm (TH10) and 0.3 mm (TH30) were used to prepare concrete specimens. The experimental program included flow spread measurement, compressive strength testing, and single-fiber pullout tests to analyze bond characteristics. The results indicate that TH30 exhibited a higher flow spread (26.00 ± 1.50 mm) compared to TH10 (24.50 ± 2.00 mm), reflecting the influence of particle surface area on mixture fluidity. Conversely, TH10 achieved higher compressive strength (188.62 ± 2.21 MPa versus 184.59 ± 2.66 MPa for TH30), attributable to its ability to fill voids and form a denser microstructure. Regarding bond performance, TH10 demonstrated higher values, including maximum pullout load (62.31 N), pullout energy (117.60 N·mm), maximum bond strength (13.22 MPa), and equivalent bond strength (9.98 MPa), all of which exceeded those of TH30. These findings reveal that fine sand not only enhances compressive strength but also improves the bond between steel fibers and concrete, thereby facilitating more efficient stress transfer within concrete.

Keywords: Sand particle size; Adhesion; Steel fiber; Concrete.

ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ THI CÔNG GIẾNG ĐỨNG VSM TRONG XÂY DỰNG BÃI ĐỖ XE NGẦM TẠI KHU VỰC ĐÔ THỊ HÀ NỘI

Vũ Minh Ngạn[1,*], Vũ Thái Linh[1]

[1]Trường Đại học Mỏ - Địa chất

**Tác giả liên hệ: Email: vuminhngan@humg.edu.vn*

Tóm tắt

Sự gia tăng nhanh về dân số và kinh tế ở Hà Nội làm nhu cầu đi lại và số lượng ô tô cá nhân tăng mạnh, trong khi bãi đỗ xe nội đô lại thiếu hụt nghiêm trọng. Việc xây dựng bãi đỗ xe ngầm vì thế trở nên cần thiết. Bài báo cho thấy công nghệ thi công giếng đứng sử dụng máy đào giếng đứng VSM (Vertical Shaft Sinking Machine) để thi công bãi đỗ xe ngầm là khả thi và phù hợp với điều kiện địa chất, thủy văn của Hà Nội, đồng thời đề xuất giải pháp ứng dụng công nghệ này trong thi công bãi đỗ xe ngầm. Kết quả nghiên cứu là cơ sở cho việc lựa chọn biện pháp thi công trong các dự án xây dựng bãi đỗ xe ngầm sắp tới tại Hà Nội.

***Từ khóa**:* giếng chìm, VSM, bãi đỗ xe ngầm.

1. Đặt vấn đề

Sự phát triển nhanh của nền kinh tế cùng với tốc độ gia tăng dân số tại Hà Nội đã làm nhu cầu đi lại và số lượng ô tô cá nhân tăng mạnh. Trong khi đó, thành phố đang thiếu hụt nghiêm trọng các bãi đỗ xe, đặc biệt ở khu vực nội đô, khiến việc phát triển bãi đỗ xe ngầm trở thành một giải pháp tất yếu. Hiện nay, Hà Nội đã quy hoạch 78 vị trí dành cho bãi đỗ xe ngầm công cộng tại khu vực trung tâm thành phố, chủ yếu bố trí dưới công viên, vườn hoa và quảng trường, nhưng mới chỉ có một số ít dự án được triển khai theo phương pháp đào hở. Tuy nhiên, các phương pháp truyền thống như đào hở (cut-and-cover) hay thi công top-down gặp nhiều hạn chế tại Hà Nội do đặc điểm địa chất yếu, mực nước ngầm cao và quỹ đất thi công hạn hẹp. Trong bối cảnh đó, công nghệ thi công giếng đứng bằng máy đào giếng đứng VSM (Vertical Shaft Sinking Machine), vốn đã được áp dụng hiệu quả tại nhiều quốc gia, được xem là một giải pháp tiềm năng, đặc biệt phù hợp với điều kiện địa chất yếu và hạn chế mặt bằng ở các đô thị lớn như Hà Nội. Bài báo trình bày tổng quan công nghệ thi công giếng đứng VSM và đánh giá khả năng ứng dụng công nghệ này trong thi công bãi đỗ xe ngầm tại các khu vực đô thị Hà Nội trong tương lai gần.

Hình 1. Mô hình bãi đỗ xe ngầm trong thành phố (Herrenknecht, 2025)

2. Xây dựng bãi đỗ xe ngầm bằng công nghệ thi công giếng đứng VSM

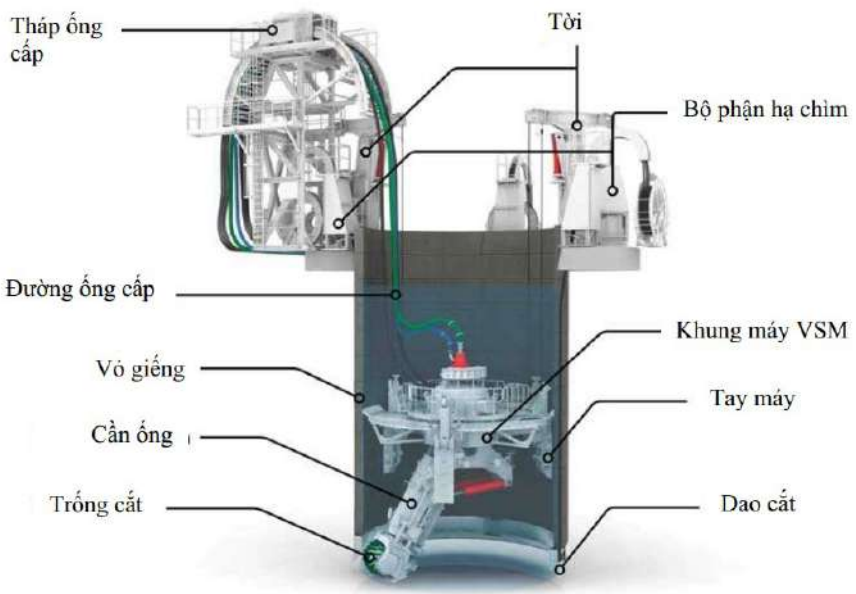
Trong xây dựng bãi đỗ xe ngầm tại các đô thị lớn như Hà Nội, thách thức lớn nhất thường nằm ở việc thi công các giếng đứng và hố đào sâu trong điều kiện địa chất phức tạp, mực nước ngầm

cao và xung quanh có nhiều công trình hiện hữu. Phương pháp thi công truyền thống như đào hở (cut and cover) gặp nhiều hạn chế do khó kiểm soát an toàn, tốc độ thi công chậm và nguy cơ ảnh hưởng đến các công trình lân cận. Vì vậy, việc ứng dụng những công nghệ hiện đại như công nghệ thi công giếng đứng VSM được xem là giải pháp khả thi và hiệu quả.

Công nghệ thi công giếng đứng VSM, do Herrenknecht phát triển và đưa vào ứng dụng từ năm 2006, cho phép đào giếng đứng với đường kính lớn và chiều sâu tới 85 m mà không cần hạ thấp mực nước ngầm. Hệ thống được điều khiển hoàn toàn tự động từ mặt đất, vừa đảm bảo tốc độ thi công nhanh, vừa nâng cao mức độ an toàn cho công nhân và công trình. Điều này đặc biệt quan trọng khi xây dựng bãi đỗ xe ngầm trong khu vực trung tâm đô thị, nơi mật độ công trình và giao thông dày đặc.

Thực tế, công nghệ VSM đã được áp dụng thành công cho nhiều công trình ngầm trên thế giới như giếng thông gió metro, giếng kỹ thuật và các hố ga thoát nước như tại Paris (Pháp) (Zhang, Y. và nnk, 2025), Napoli (Ý), Sant Peterburg (Nga), Singapore… Đối với bãi đỗ xe ngầm, VSM có thể hỗ trợ hiệu quả trong việc thi công các giếng thang máy, giếng thông gió, lối lên xuống hoặc các hố đào kỹ thuật ở độ sâu lớn. Nhờ ưu điểm thi công nhanh chóng, ít gây lún nứt và giảm thiểu tác động tới môi trường xung quanh, công nghệ thi công giếng đứng VSM hứa hẹn mở ra hướng đi mới trong xây dựng các bãi đỗ xe ngầm hiện đại, đáp ứng nhu cầu hạ tầng giao thông tĩnh ngày càng gia tăng tại Hà Nội và các đô thị lớn của Việt Nam.

2.1 Cấu tạo của máy đào giếng đứng VSM



Hình 2. Cấu tạo máy đào giếng đứng VSM (Khine, H. Y. và nnk, 2022).

Hệ thống máy đào giếng đứng VSM được thiết kế như một tổ hợp cơ giới hóa đồng bộ, bao gồm các bộ phận chính sau:

- Bộ phận đào (Cutting Unit): Gồm dao cắt gắn trên khung đào, được kết nối với cần dẫn hướng. Dao cắt có khả năng cắt phá đất mềm, đất dính hoặc đất pha sỏi, đồng thời có thể điều chỉnh biên độ đào (overcut) để kiểm soát kích thước giếng. Hệ thống bơm hút hỗn hợp đất - nước (slurry pump) được tích hợp tại bộ phận này, giúp vận chuyển đất đào lên mặt đất qua ống dẫn, tương tự như với công nghệ khoan kích ngầm pipe-jacking (Schmäh, P., 2007).

- Bộ phận hạ ngầm (Sinking Unit): Gồm các kích thủy lực và cáp thép, có nhiệm vụ hạ dần các vòng vỏ giếng xuống theo chiều sâu thiết kế. Các kích thủy lực được điều khiển từ xa, bảo đảm các vòng vỏ hạ đều và chính xác. Vỏ giếng thường là các tấm bê tông cốt thép đúc sẵn hoặc đúc tại chỗ, liên kết với nhau bằng bu lông và neo thép.

- Hệ thống vận chuyển và xử lý đất đào: Hỗn hợp đất và nước sau khi đào được bơm lên mặt đất qua ống dẫn. Tại mặt bằng thi công bố trí trạm phân tách (separation plant) gồm sàng, cyclone và bể lắng để tách đất khỏi dung dịch bentonite. Dung dịch sau đó được tái sử dụng cho quá trình đào.

- Buồng điều khiển (Control Cabin): Đặt trên mặt đất, là nơi vận hành và giám sát toàn bộ hệ thống. Các thông số như áp lực thủy lực, tốc độ đào, độ sâu, độ nghiêng và vị trí dao cắt được hiển thị trên màn hình điều khiển. Nhờ điều khiển từ xa, người vận hành không cần trực tiếp xuống giếng, nâng cao an toàn thi công.

- Hệ thống nâng hạ và vận chuyển: Bao gồm cần cẩu và tời để lắp đặt, tháo dỡ và di chuyển các bộ phận máy VSM sau khi hoàn thành thi công. Các thiết bị này cũng hỗ trợ trong việc lắp dựng các đốt giếng và cấu kiện bê tông.

2.2 Các bước thi công bằng công nghệ thi công giếng đứng VSM

Các bước thi công khi ứng dụng công nghệ thi công giếng đứngVSM khi thi công bãi đỗ xe bao gồm:

- Bước 1: Chuẩn bị công trường

San gạt, làm phẳng và gia cố mặt bằng. Thi công đốt giếng đáy bằng bê tông cốt thép, làm bệ đỡ tải trọng máy VSM và hệ thống hạ chìm. Bố trí khu vực lắp dựng, cần cẩu, trạm phân tách bùn và hệ thống bơm vữa.

- Bước 2: Lắp đặt dao cắt và vòng giếng khởi tạo. Lắp dao cắt (cutting edge) vào đáy giếng, có nhiệm vụ cắt và giữ ổn định đất khi đào. Lắp dựng vòng giếng khởi tạo (khoảng 5 m đầu tiên), gia cố bằng thép để chịu tải trọng thiết bị và phản lực trong quá trình thi công. Gắn các tấm thép dự ứng để kết nối với tay cắt của VSM.

- Bước 3: Lắp đặt thiết bị VSM

Các bộ phận (đầu đào, thân máy, kích thủy lực, cáp thép, hệ thống bơm và ống dẫn) được vận chuyển và lắp ráp tại công trường. Lắp đặt và cố định hệ thống kích thủy lực và dây cáp vào vị trí thiết kế. Kết nối hệ thống điện, thủy lực, cấp và thoát dung dịch bentonite. Kiểm tra định vị và độ chính xác của giếng trước khi thi công.

- Bước 4: Đào và hạ chìm giếng

Quá trình đào được điều khiển từ buồng điều khiển trên mặt đất, toàn bộ thông số được hiển thị trên màn hình. Dao cắt phá đất và đưa hỗn hợp đất – nước ra ngoài bằng bơm (lưu lượng 200–400 m^3/h). Hỗn hợp được đưa lên hệ thống phân tách để tách đất và tái sử dụng dung dịch. Các vòng vỏ giếng được hạ chìm dần nhờ hệ thống cáp thép và kích thủy lực. Đồng thời bơm vữa bentonite lấp đầy khe hở giữa vỏ giếng và đất, bảo đảm ổn định kết cấu. VSM có khả năng thi công giếng đường kính 5,5–18 m, sâu tối đa 85 m.

- Bước 5: Lắp dựng vỏ giếng

Thông thường sử dụng các tấm bê tông đúc sẵn, lắp bằng cần cẩu từ trên xuống. Các tấm được liên kết bằng bu lông, neo thép. Với giếng kích thước lớn hoặc yêu cầu đặc biệt, có thể đổ bê tông tại chỗ để tạo kết cấu vỏ liên tục.

- Bước 6: Hoàn thiện giếng

Khi đạt độ sâu thiết kế, tiến hành đổ bê tông bịt đáy bằng công nghệ bê tông trong nước. Tháo rời thiết bị VSM, vận chuyển ra ngoài bằng cẩu. Hoàn thiện bề mặt giếng, bơm vữa lấp kín các khe hở. Bơm hút nước trong giếng, kết thúc quá trình thi công và bàn giao mặt bằng cho giai đoạn xây dựng tiếp theo (ví dụ: hầm ngầm, thang máy, thông gió…).

2.3 Ưu nhược điểm công nghệ

** Ưu điểm của công nghệ thi công giếng đứng VSM:*

- Thi công an toàn và tự động hóa cao: Toàn bộ quá trình đào, bơm đất, hạ vỏ giếng được điều khiển từ xa tại buồng điều khiển trên mặt đất. Người lao động không phải trực tiếp xuống giếng,

giảm thiểu nguy cơ tai nạn lao động và tiếp xúc với môi trường nguy hiểm.

- Hiệu quả trong điều kiện địa chất phức tạp: Có khả năng thi công trong nền đất yếu, đất dính, đất bão hòa nước và cả trong mực nước ngầm cao. Không cần phải hạ mực nước ngầm hoặc xử lý nền quá phức tạp, nhờ hệ thống bơm hút và chống thấm chủ động.

- Tốc độ và tính chính xác cao: Quá trình đào và hạ vỏ giếng diễn ra liên tục, rút ngắn thời gian so với phương pháp thủ công. Hệ thống điều khiển giúp bảo đảm giếng hạ đúng vị trí, độ thẳng đứng và kích thước thiết kế.

- Giảm ảnh hưởng đến công trình lân cận: Không gây ra biến dạng bề mặt lớn như phương pháp đào hở (cut-and-cover). Phù hợp với khu vực đô thị đông đúc, mật độ công trình ngầm cao.

- Ứng dụng đa dạng: Dùng cho giếng khởi đào và giếng nhận trong công nghệ khoan kích ngầm (pipe jacking, microtunnelling); Xây dựng giếng thông gió metro, hố ga kỹ thuật, giếng bảo trì hệ thống thoát nước, và có tiềm năng cho các bãi đỗ xe ngầm.

** Nhược điểm của công nghệ thi công giếng đứng VSM:*

- Chi phí đầu tư cao: Máy VSM và hệ thống đi kèm (cẩu, trạm tách bùn, hệ thống bơm, vỏ giếng bê tông đúc sẵn) có giá trị lớn, đòi hỏi vốn đầu tư ban đầu cao.

- Yêu cầu thiết bị phụ trợ và mặt bằng: Cần bố trí không gian cho trạm phân tách đất – bùn, hệ thống bơm và cẩu phục vụ lắp đặt, điều này đôi khi khó khăn ở khu vực đô thị chật hẹp.

- Giới hạn về kích thước giếng: VSM hiện phù hợp nhất cho giếng có đường kính từ khoảng 4 m đến 18 m; Với giếng siêu lớn hoặc hình dạng đặc biệt (hình chữ nhật, nhiều khoang) thì khó áp dụng, cần phương pháp khác.

- Yêu cầu nhân lực kỹ thuật cao: Vận hành VSM cần đội ngũ kỹ sư và công nhân có tay nghề cao, được đào tạo chuyên biệt.Ở những nơi chưa có kinh nghiệm, việc triển khai ban đầu gặp khó khăn.

- Khó khăn khi tiếp cận ở Việt Nam: Công nghệ còn mới, ít được áp dụng thực tế tại Việt Nam; Chi phí thuê/mua máy, cũng như dịch vụ bảo trì, thay thế linh kiện từ hãng sản xuất ở nước ngoài còn hạn chế.

3. Đánh giá khả năng ứng dụng công nghệ thi công giếng đứng VSM trong xây dựng bãi đỗ xe ngầm tại khu vực đô thị Hà Nội

3.1 Đánh giá điều kiện địa chất, thủy văn khu vực đô thị Hà Nội khi xây dựng bãi đỗ xe ngầm

Hà Nội nằm trên đồng bằng châu thổ sông Hồng, được hình thành bởi các trầm tích trẻ Holocene. Các lớp đất chủ yếu gồm bùn, sét mềm, cát pha, đất hữu cơ và vật liệu san lấp không đồng nhất. Tầng đất yếu thường dày từ 10–30 m, sức chịu tải thấp và có độ nén lún lớn. Phân bố đất không đồng đều, xen kẹp một số lớp cát chặt hoặc sỏi ở độ sâu trung bình, tạo điều kiện thuận lợi hơn cho móng hoặc vách hầm tại một số vị trí (Tran, T. T. N.và nnk, 2018).

Về điều kiện thủy văn - địa chất, mực nước ngầm ở Hà Nội thường rất nông, dao động trong khoảng 1-3 m so với mặt đất tự nhiên và thay đổi theo mùa. Đặc điểm này gây áp lực lớn lên hố đào, đặc biệt khi thi công sâu. Đất sét và bùn có hệ số thấm thấp nhưng dễ bão hòa nước, trong khi lớp cát mịn và cát pha lại có độ thấm cao, dễ gây thấm nước và xói cục bộ. Tầng đất hữu cơ hoặc bùn yếu tại nhiều khu vực còn làm gia tăng nguy cơ lún kéo dài và biến dạng nền.

Các yếu tố địa chất tại Hà Nội đặt ra nhiều thách thức đối với xây dựng công trình ngầm. Lớp đất yếu phổ biến làm giảm khả năng ổn định hố đào, gây khó khăn trong thi công và tăng rủi ro mất an toàn. Hiện tượng lún tổng thể và lún không đều thường xảy ra trong nền bùn sét mềm, ảnh hưởng nghiêm trọng đến công trình lân cận. Bên cạnh đó, mực nước ngầm cao tạo ra áp lực lớn, có thể dẫn đến sủi đáy hoặc phá hoại đáy hố đào khi thi công sâu. Sự không đồng nhất của lớp đất san lấp và các trầm tích tự nhiên cũng làm phức tạp công tác dự báo và kiểm soát biến dạng, khiến yêu cầu khảo sát và thiết kế trở nên chặt chẽ hơn.

Đặc điểm địa chất khu vực đô thị Hà Nội có sự phân hóa rõ rệt theo từng vùng. Ở khu vực nội đô cũ như Hoàn Kiếm, Ba Đình, Đống Đa và Hai Bà Trưng, địa chất chủ yếu gồm lớp đất san lấp dày phía trên, bên dưới là bùn sét mềm bão hòa nước, cùng với mực nước ngầm cao. Điều kiện này đặc biệt bất lợi đối với các biện pháp đào hở khi xây dựng công trình ngầm. Tại các khu vực ven sông Hồng và gần các hồ, nền đất yếu và bão hòa nước, làm tăng nguy cơ lún, gây khó khăn trong kiểm soát ổn định công trình và ảnh hưởng đến công trình lân cận. Trong khi đó, khu vực phía Tây – Tây Nam như Cầu Giấy, Nam Từ Liêm và Thanh Xuân có điều kiện thuận lợi hơn nhờ sự xuất hiện của các lớp cát chặt xen kẹp, giúp nền đất ổn định hơn và khả quan hơn cho việc phát triển công trình ngầm.

3.2 Đánh giá vị trí có thể ứng dụng công nghệ thi công giếng đứng VSM tại Hà Nội

Về vị trí, công nghệ thi công giếng đứng VSM có thể triển khai hiệu quả tại các khu vực công viên, quảng trường hoặc không gian công cộng, điển hình như công viên Thống Nhất hay quảng trường Cách mạng Tháng Tám. Các không gian này có lợi thế diện tích rộng, ít ảnh hưởng đến nhà dân và hạ tầng hiện hữu, đồng thời cho phép bố trí giếng VSM làm trục thi công chính, kết nối với hệ thống không gian ngầm mà vẫn đảm bảo cảnh quan đô thị. Ngoài ra, các khu vực gần các ga metro trọng điểm như ga Cát Linh hay ga Trần Hưng Đạo là vị trí đặc biệt phù hợp, nơi bãi đỗ xe ngầm có thể tích hợp với trung tâm thương mại, dịch vụ, tạo thành các tổ hợp công trình đa chức năng, từ đó tăng hiệu quả khai thác sử dụng đất trong điều kiện quỹ đất trên mặt ngày càng hạn chế.

a) Khu vực công viên Thống Nhất *b) Khu vực quảng trường Cách Mạng Tháng 8*

Hình 3. Một số khu vực có thể ứng dụng thi công bãi đỗ xe ngầm bằng công nghệ thi công giếng đứng VSM tại Hà Nội

Bảng 1. *Một số khu vực có thể ứng dụng công nghệ VSM trong thi công bãi đỗ xe ngầm ở Hà Nội*

Khu vực dự kiến ứng dụng	Lý do
Công viên Thống Nhất	Diện tích công viên lớn, dễ bố trí giếng VSM mà không ảnh hưởng mạnh đến mặt đất dân cư, dễ tiếp cận từ nhiều tuyến đường.
Quảng trường Cách Mạng Tháng Tám	Vị trí trung tâm, có mật độ giao thông cao, nếu có bãi đỗ xe ngầm kết hợp giếng VSM sẽ giảm áp lực đỗ xe mặt đường.
Ga Cát Linh (khu vực đường 2A - chuẩn bị kết nối)	Kết nối trực tiếp với ga metro; bãi đỗ xe ngầm tại đây sẽ tạo thuận lợi cho người dùng metro; giúp giảm xe cá nhân vào trung tâm.
Ga Trần Hưng Đạo	Trung tâm lịch sử & thương mại; việc đặt bãi đỗ xe ngầm dưới hoặc gần ga sẽ tối ưu hóa quỹ đất và phát huy tính kết nối.
Các công viên nhỏ/quảng trường phụ trong nội đô (ví dụ công viên nhỏ quanh Hồ Hoàn Kiếm, khu vực Lý Thái Tổ, Quán Thánh,…)	Có thể dùng các công viên nhỏ để đặt giếng VSM có kích thước nhỏ hơn để hạn chế ảnh hưởng đến cảnh quan, đồng thời làm trạm căn bản cho bãi đỗ ngầm nhỏ.

Một ưu điểm lớn của công nghệ thi công giếng đứng VSM là khả năng tạo kết nối trực tiếp với hạ tầng metro, giúp liên thông không gian giao thông ngầm. Điều này không chỉ góp phần giải quyết vấn đề giao thông tĩnh mà còn thúc đẩy người dân sử dụng giao thông công cộng nhiều hơn nhờ sự tiện lợi khi có thể di chuyển liền mạch từ bãi đỗ xe đến ga metro. Bên cạnh đó, với đặc trưng thi công theo công nghệ thi công giếng đứng VSM phù hợp để mở rộng không gian ngầm theo chiều sâu, từ đó đáp ứng định hướng phát triển đô thị ngầm của Hà Nội đến năm 2050. Điều này giúp Hà Nội dần hình thành mạng lưới không gian ngầm hiện đại, đa chức năng, phục vụ đồng thời nhu cầu đỗ xe, thương mại và giao thông.

3.3 Một số hạn chế và thách thức ứng dụng công nghệ thi công giếng đứng VSM trong thi công bãi đỗ xe ngầm tại Hà Nội

Việc ứng dụng công nghệ thi công giếng đứng VSM trong xây dựng bãi đỗ xe ngầm tại Hà Nội hứa hẹn mang lại nhiều lợi ích nhờ khả năng thi công nhanh, an toàn và phù hợp với điều kiện mặt bằng hạn chế. Tuy nhiên, trong bối cảnh địa chất – đô thị đặc thù của Hà Nội, công nghệ này cũng đối mặt với nhiều thách thức và hạn chế cần được đánh giá kỹ lưỡng.

Thứ nhất, điều kiện địa chất là yếu tố then chốt ảnh hưởng đến tính khả thi của VSM. Khu vực nội đô Hà Nội phổ biến các lớp đất yếu như bùn sét mềm, đất san lấp không đồng nhất và mực nước ngầm cao. Trong quá trình thi công, các yếu tố này có thể gây mất ổn định hố đào, sụt lún thành giếng hoặc sủi đáy, đặc biệt nguy hiểm nếu công trình nằm gần nhà dân, tuyến đường hoặc hạ tầng kỹ thuật hiện hữu. Việc xử lý nền và kiểm soát nước ngầm trong điều kiện này thường rất phức tạp và tốn kém, dễ làm gia tăng chi phí và kéo dài thời gian thi công.

Thứ hai, công nghệ thi công giếng đứng VSM yêu cầu sử dụng thiết bị hiện đại, kích thước lớn, đồng bộ từ đầu cắt, hệ thống bơm – phân tách bùn đất, đến hệ thống nâng hạ và điều khiển tự động. Việt Nam hiện chưa có sẵn máy VSM, đồng nghĩa với việc phải nhập khẩu thiết bị từ nước ngoài, phát sinh chi phí đầu tư rất cao. Ngoài ra, công tác vận chuyển, lắp đặt và bảo dưỡng máy móc cồng kềnh trong không gian hạn chế của nội đô cũng là thách thức đáng kể.

Ngoài ra, nguồn nhân lực trong nước hiện chưa có nhiều kinh nghiệm với công nghệ thi công giếng đứng VSM. Đây là công nghệ mới, đòi hỏi kỹ sư và công nhân phải được đào tạo chuyên sâu về vận hành, bảo dưỡng cũng như xử lý các sự cố phức tạp trong quá trình thi công. Việc phụ thuộc vào chuyên gia quốc tế cho giai đoạn đầu triển khai sẽ làm tăng chi phí và kéo dài thời gian chuẩn bị dự án.

Bên cạnh đó, thách thức về mặt bằng thi công tại Hà Nội không thể bỏ qua. Đặc trưng đô thị là mật độ xây dựng dày đặc, quỹ đất trống trong nội đô hầu như không còn, trong khi thi công giếng đứng VSM vẫn cần diện tích nhất định để bố trí giếng khởi tạo, hệ thống tách bùn đất, bơm vữa và vận chuyển vật liệu. Việc bố trí các công trường lớn ngay trong nội đô, đồng thời đảm bảo an toàn giao thông và sinh hoạt của người dân, đòi hỏi sự phối hợp chặt chẽ với chính quyền và đơn vị quản lý hạ tầng.

Cuối cùng, vấn đề tài chính cũng là một hạn chế đáng kể. Công nghệ thi công giếng đứng VSM có chi phí đầu tư ban đầu rất cao so với các phương pháp truyền thống như đào hở hay top-down. Trong khi nguồn vốn cho các dự án bãi đỗ xe ngầm ở Hà Nội hiện nay còn hạn chế và chủ yếu phụ thuộc vào xã hội hóa, việc thuyết phục nhà đầu tư tham gia triển khai công nghệ mới này không hề dễ dàng. Rủi ro tài chính có thể trở thành rào cản nếu không có cơ chế chính sách hỗ trợ phù hợp từ phía Nhà nước.

3.4 Một số giải pháp ứng dụng công nghệ thi công giếng đứng VSM trong thi công bãi đỗ xe ngầm tại Hà Nội

Để công nghệ thi công giếng đứng VSM có thể được ứng dụng hiệu quả trong xây dựng bãi đỗ xe ngầm tại Hà Nội, cần có các giải pháp đồng bộ từ khâu khảo sát, thiết kế đến tổ chức thi công và quản lý dự án.

- Giải pháp về điều kiện địa chất, cần triển khai các chương trình khảo sát địa chất – thủy văn chi tiết với mật độ lỗ khoan và thí nghiệm trong phòng đủ lớn để đánh giá chính xác đặc trưng cơ lý đất nền. Trên cơ sở đó, áp dụng các biện pháp xử lý phù hợp như gia cố nền bằng Jet Grouting, Soil Mixing, hoặc hạ mực nước ngầm cục bộ bằng giếng khoan hạ thủy. Đồng thời, phải xây dựng mô hình tính toán dự báo biến dạng, lún và áp lực nước ngầm để đưa ra phương án thi công an toàn, giảm thiểu rủi ro sụt lún và ảnh hưởng đến công trình lân cận.

- Giải pháp về vấn đề thiết bị và công nghệ, cần có chiến lược hợp tác với các nhà sản xuất thiết bị thi công giếng đứng VSM hàng đầu trên thế giới để chuyển giao công nghệ. Trong giai đoạn đầu, việc nhập khẩu máy móc là cần thiết, song song đó nên thúc đẩy nghiên cứu chế tạo một số bộ phận trong nước nhằm giảm chi phí và tăng tính chủ động. Bên cạnh đó, cần chuẩn bị hạ tầng hậu cần cho máy thi công giếng đứng VSM như hệ thống tách bùn, xử lý nước thải, vận chuyển vật liệu trong điều kiện mặt bằng chật hẹp.

- Giải pháp về nhân lực: nên tổ chức các khóa đào tạo chuyên sâu cho kỹ sư và công nhân xây dựng, kết hợp đưa cán bộ đi học tập kinh nghiệm tại các quốc gia đã ứng dụng thành công công nghệ thi công giếng đứng VSM như Đức, Nhật Bản, Singapore. Song song, các trường đại học và viện nghiên cứu có thể đưa công nghệ VSM vào chương trình đào tạo, nghiên cứu, từ đó từng bước hình thành đội ngũ nhân lực nội địa đủ năng lực vận hành, bảo trì và làm chủ công nghệ.

- Giải pháp về mặt bằng và tổ chức công trường: có thể lựa chọn các vị trí thuận lợi như công viên, quảng trường hoặc khu đất trống để đặt giếng VSM. Điều này vừa giảm áp lực giải phóng mặt bằng, vừa hạn chế ảnh hưởng đến giao thông và sinh hoạt đô thị. Ngoài ra, ứng dụng các giải pháp quản lý thi công hiện đại (công nghệ BIM, mô phỏng giao thông tạm thời) sẽ giúp tối ưu hóa mặt bằng và nâng cao an toàn trong quá trình thi công.

- Giải pháp về tài chính: Nhà nước cần xây dựng cơ chế hỗ trợ như ưu đãi thuế, tín dụng, hoặc hình thức hợp tác công tư (PPP) nhằm thu hút nhà đầu tư tham gia. Đồng thời, việc tích hợp bãi đỗ xe ngầm với các chức năng thương mại, dịch vụ và giao thông công cộng sẽ nâng cao hiệu quả khai thác, tăng sức hấp dẫn kinh tế cho dự án.

Như vậy, với sự chuẩn bị kỹ lưỡng về địa chất, công nghệ, nhân lực, mặt bằng và cơ chế tài chính, các thách thức của công nghệ thi công giếng đứng VSM trong bối cảnh Hà Nội hoàn toàn có thể được kiểm soát. Đây sẽ là bước đi quan trọng để Thủ đô từng bước phát triển hệ thống hạ tầng ngầm hiện đại, đáp ứng nhu cầu giao thông – đô thị trong tương lai.

4. Kết luận

Sự phát triển nhanh chóng của nền kinh tế cùng với tốc độ gia tăng dân số tại Hà Nội đã kéo theo nhu cầu đi lại ngày càng lớn, dẫn đến số lượng ô tô cá nhân tăng mạnh. Tuy nhiên, hệ thống hạ tầng bãi đỗ xe của thành phố, đặc biệt ở khu vực nội đô, lại chưa được phát triển tương xứng, gây ra tình trạng thiếu hụt nghiêm trọng và tạo áp lực lớn cho công tác quản lý đô thị. Trước thực trạng này, nhiều giải pháp đã được nghiên cứu nhằm đáp ứng nhu cầu cấp bách về chỗ đỗ xe, trong

đó nổi bật là việc ứng dụng công nghệ thi công giếng đứng VSM để xây dựng các bãi đỗ xe ngầm. Kết quả nghiên cứu cho thấy công nghệ thi công giếng đứng VSM phù hợp với điều kiện địa chất và thủy văn tại Hà Nội, đồng thời cũng chỉ ra những thách thức có thể gặp phải trong quá trình triển khai. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đã đề xuất một số giải pháp nhằm nâng cao hiệu quả ứng dụng công nghệ VSM trong thi công bãi đỗ xe ngầm. Những kết quả này không chỉ mang ý nghĩa khoa học và thực tiễn, mà còn tạo nền tảng quan trọng để các đơn vị thi công, cơ quan quản lý và nhà đầu tư lựa chọn biện pháp phù hợp cho các dự án xây dựng bãi đỗ xe ngầm tại Hà Nội trong tương lai gần.

Tài liệu tham khảo

Herrenknecht, 2025. Https://www.herrenknecht.com/en/products/productdetail/vertical-shaft-sinking-machine-vsm/

Khine, H. Y., Marcus Tong, S. Y., & Chen, Y. K. , 2022. The first circular shaft in asia with the use of vertical shaft sinking machine. In *Proceedings of the ITA-AITES World Tunnel Congress, Copenhagen, Denmark* (pp. 2-8).

Schmäh, P. , 2007. Vertical shaft machines. State of the art and vision. *Acta Montan. Slovaca*, *12*, 208-216.

Tran, T. T. N., Tran, G., Tran, N. D., Dinh, X. T., Tran, T. D., Nguyen, T. P. T., ... & Doan, D. L.,2018. The The Holocene–Present Shoreline Migration off Thai Binh–Nam Dinh in Relation to Evolution of Deltaic Lobes and History of the So River. *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*, *34*(4).

Zhang, Y., Thévenot, L., & Sandré, C. , 2025. Review of the innovative construction technologies in the Grand Paris Express project. In *Tunnelling into a Sustainable Future–Methods and Technologies* (pp. 547-554). CRC Press.

Assessment of the Applicability of VSM (Shaft Sinking Technology) in the Construction of Underground Parking Facilities in Urban Areas of Hanoi

Vu Minh Ngan[1,*], Vu Thai Linh[1]
[1]*Hanoi University of Mining and Geology*
**Corresponding author: Email: vuminhngan@humg.edu.vn*

Abstract

The rapid growth of Hanoi's population and economy has significantly increased travel demand and the number of private vehicles, while inner-city parking facilities remain severely insufficient. As a result, the development of underground parking structures has become imperative. This study evaluates the feasibility of employing the Vertical Shaft Sinking Machine (VSM) for shaft construction in underground parking projects. The findings indicate that VSM technology is well-suited to Hanoi's geological and hydrogeological conditions and propose solutions to address potential implementation challenges. These results provide a scientific and practical basis for selecting appropriate construction methods in future underground parking developments in Hanoi.

***Keywords**:* Shaft sinking; Vertical Shaft Sinking Machine (VSM); underground parking facility

ỨNG DỤNG VẬT LIỆU GEOPOLYMER TRONG ĐỊA KỸ THUẬT: MỘT TỔNG QUAN VỀ TÀI LIỆU NGHIÊN CỨU

Trần Nguyễn Thiện Tâm[1,*], Hoàng Trọng Quang[1]

[1]Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

**Tác giả liên hệ: Email: trantam2512@hcmut.edu.vn*

Tóm tắt

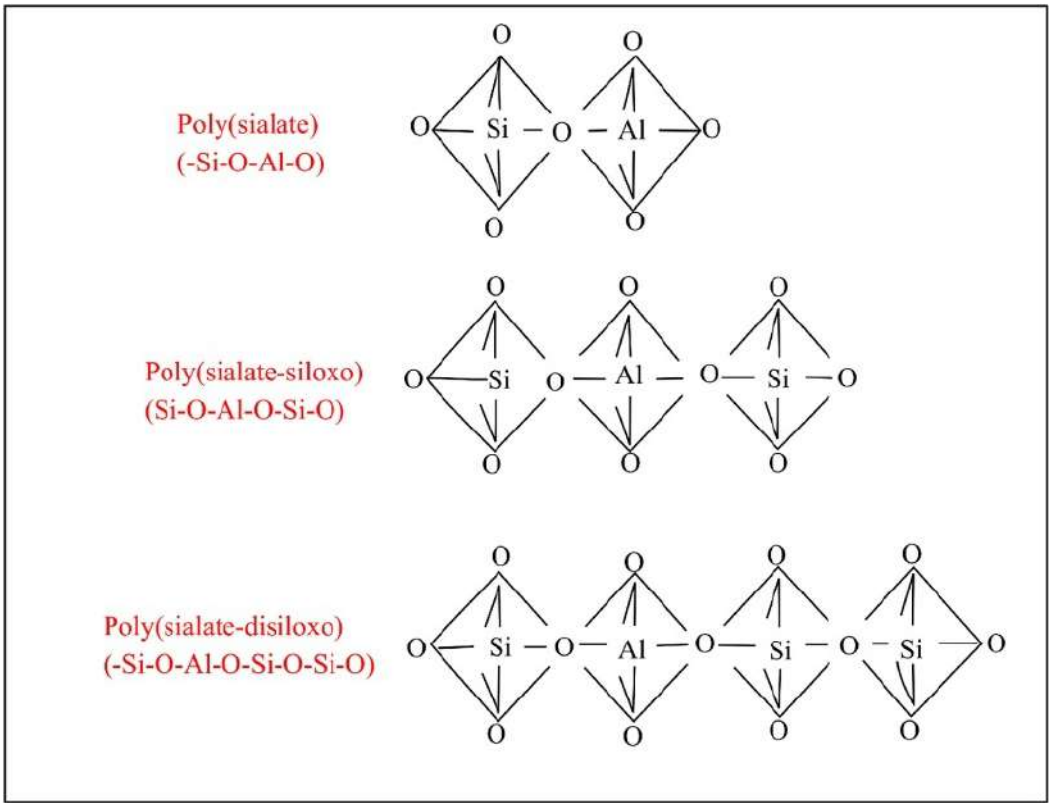
Geopolymer là vật liệu kết dính vô cơ, thân thiện với môi trường được tạo ra bằng cách tương tác giữa tiền chất aluminosilicat với chất hoạt hóa. Quá trình tạo ra geopolymer được gọi là geopolymerization, một quá trình biến đổi vật liệu aluminosilicat thô thành geopolymer. Geopolymer có ứng dụng trong nhiều ngành kỹ thuật, chẳng hạn như kỹ thuật vật liệu, kỹ thuật xây dựng, kỹ thuật môi trường, v.v… Nghiên cứu tổng quan này thu thập, tổng hợp và phân tích tài liệu để tóm tắt các kiến thức cơ bản về quá trình geopolymerization, tập trung vào thành phần vật liệu và các quá trình hình thành geopolymer. Đặc biệt, bài báo điểm lại vai trò của geopolymer trong lĩnh vực địa kỹ thuật, bao gồm các hướng gia cố đất, nền móng công trình, ổn định mái dốc. Tổng quan về tài liệu nghiên cứu cho thấy geopolymer có nhiều tiềm năng ứng dụng quan trọng trong ngành kỹ thuật xây dựng nói chung và địa kỹ thuật nói riêng. Tuy nhiên khoảng trống nghiên cứu lớn nhất là chưa có tiêu chuẩn kỹ thuật chung cho loại vật liệu mới này. Nếu vấn đề này được giải quyết, hiệu quả ứng dụng thực tiễn của geopolymer sẽ tăng lên rất đáng kể đồng thời góp phần vào việc chống biến đổi khí hậu đang ngày càng trở nên cấp bách hiện nay.

Từ khóa: geopolymer, geopolymerization, geotechnical engineering, soil stabilization, foundation engineering.

1. Tổng quan

Geopolymer là vật liệu kết dính vô cơ, thân thiện với môi trường và có hiệu suất cao được tạo ra nhờ sự tương tác của khoáng vật aluminosilicat với chất hoạt hóa kiềm hoặc ít phổ biến hơn là chất hoạt hóa axit (Elgarahy et al., 2023), (El Alouani et al., 2024). Năm 1979, thuật ngữ geopolymer lần đầu tiên được giới thiệu và sau đó được phát triển sâu rộng bởi người tiên phong, tiến sĩ Joseph Davidovits, một nhà hóa học và nhà khoa học vật liệu người Pháp (P. J. Davidovits, 2002). Aluminosilicat là một loại khoáng vật được tạo thành chủ yếu từ nhôm (Al), silic (Si) và oxy (O) (Simanjuntak et al., 2013). Chất hoạt hóa kiềm là hỗn hợp dung dịch của natri hydroxit (NaOH) và natri silicat (Na_2SiO_3) (Fahim Huseien et al., 2017). Chúng đóng vai trò thiết yếu trong quá trình geopolymerization, một quá trình biến đổi vật liệu aluminosilicat thô thành geopolymer (Madirisha et al., 2024).

Geopolymer được phân loại thành ba loại dựa trên tỷ lệ Si/Al của chúng: loại S - sialate (-Si-O-Al-) với tỷ lệ Si/Al = 1, loại PSS - sialate-siloxo (-Si-O-Al-O-Si-) với tỷ lệ Si/Al = 2, và loại PSDS - sialate-disiloxo (-Si-O-Al-O-Si-O-Si-) với tỷ lệ Si/Al = 3 (J. Davidovits, 1991). Các quy trình hóa học thường điều chỉnh tỷ lệ Si/Al trong các cấu trúc geopolymer cho các mục đích sử dụng đặc biệt (Wan et al., 2017). Hình 1 minh họa cho ba loại geopolymer theo cấu trúc dựa trên tỷ lệ Si/Al là sialate, sialate-disiloxo và sialate-disiloxo.

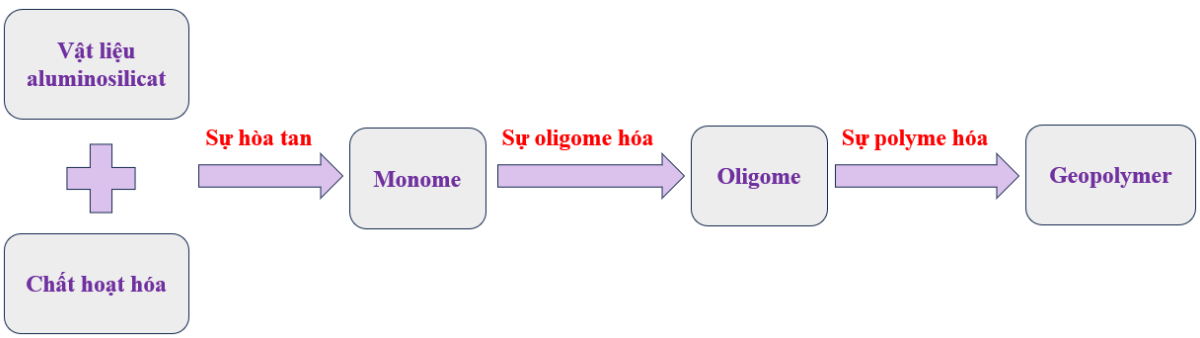


Hình 1. Phân loại geopolymer dựa trên tỷ lệ Si/Al (Arokiasamy et al., 2023)

Geopolymer có phạm vi ứng dụng rộng rãi trong nhiều ngành công nghiệp, ví dụ như vật liệu chống cháy và chịu nhiệt độ cao, vật liệu cách nhiệt, vật liệu hấp thụ, chất xúc tác, vật liệu composite (Cong & Cheng, 2021). Trong kỹ thuật xây dựng, geopolymer có nhiều nghiên cứu và ứng dụng, đặc biệt là đối với xi măng và bê tông (Patil et al., 2023). Đối với lĩnh vực địa kỹ thuật, cũng có rất nhiều ứng dụng của geopolymer, ví dụ như gia cố đất, nền móng công trình, ổn định mái dốc.

Trong nghiên cứu này, các tác giả thu thập, tổng hợp và phân tích tài liệu để điểm lại các kiến thức cơ bản về geopolymer, bao gồm quá trình geopolymerization, các loại geopolymer và tính chất của geopolymer. Bên cạnh đó, bài báo tổng quan này cũng làm rõ vai trò của geopolymer trong các lĩnh vực chính của địa kỹ thuật.

2. Geopolymerization



Hình 2. Quá trình geopolymerization

Hình 2 thể hiện quá trình geopolymerization để hình thành geopolymer từ vật liệu thô aluminosilicat và chất hoạt hóa. Dưới đây là trình bày chi tiết các thành phần và các phản ứng trong quá trình này.

2.1 Vật liệu thô

Các đơn vị cơ bản tạo nên geopolymer là khoáng vật aluminosilicat. Khoáng vật aluminosilicat thuộc nhóm khoáng vật silicat nói chung, chủ yếu bao gồm nhôm (Al), silic (Si) và oxy (O), thường có thêm các nguyên tố bổ sung như natri (Na), kali (K) hoặc canxi (Ca). Nhìn chung, vật liệu geopolymer được chia thành hai nhóm chính là vật liệu tự nhiên và phế thải (Cong & Cheng, 2021).

Các nguồn vật liệu tự nhiên để tổng hợp geopolymer bao gồm ba nhóm chính là khoáng vật sét, đất laterit và các loại khác, chẳng hạn như bentonit, mullite, halloysite, diatomit, bauxit, v.v… (Cong & Cheng, 2021). Trong nhóm vật khoáng sét, kaolinit là loại đất sét được khai thác nhiều nhất và là khoáng vật phổ biến nhất để tạo ra geopolymer (Abdullah et al., 2018). Từ kaolinit, metakaolin được sản xuất bằng cách nung kaolin ở nhiệt độ cao, thường là từ 650 °C đến 750 °C (Black, 2016). Một khoáng vật phổ biến khác để tạo ra geopolymer là zeolit (Nikolov et al., 2017). Zeolit là vật liệu tinh thể có cấu trúc được tạo thành bởi các tứ diện, ví dụ như [SiO_4] hoặc [AlO_4] (Gatta & Lotti, 2018).

Thuật ngữ laterite có nguồn gốc từ tiếng Latin "later", có nghĩa là một viên gạch (Lemougna et al., 2011). Nó có cấu trúc là ma trận Fe_2O_3(FeO)-SiO_2-Al_2O_3, có nhiều nhôm và sắt (Cyriaque Kaze et al., 2022). Đất laterit được hình thành ở những vùng có thời tiết nhiệt đới nóng ẩm và thường có màu đỏ đặc trưng do sự hiện diện của khoáng vật sắt (Mareddy, 2017).

Trong nhóm còn lại của vật liệu tự nhiên để tổng hợp geopolymer, các vật liệu phổ biến là bentonit, mullite, diatomit, bauxit, halloysite (Alshaaer et al., 2025).

Một trong những nguyên liệu thô dồi dào cho sản xuất geopolymer là phế thải, có thể được chia thành hai nhóm chính: phế thải công nghiệp và phế thải tự nhiên. Các loại phế thải công nghiệp phổ biến là tro bay (fly ash), xỉ lò cao (blast furnace slag), phế thải thủy tinh (glass waste), bụi đá cẩm thạch (marble dust), phế thải gốm sứ (ceramic waste), quặng đuôi (mine tailings), nhựa phế thải (waste plastic). Đối với nhóm phế thải tự nhiên, các loại vật liệu phổ biến nhất là tro trấu (rice husk ash), tre, tro núi lửa (volcanic ash), pozzolan, Polyethylene Terephthalate (PET) (Cong & Cheng, 2021).

Tro bay là cặn rắn mịn được thải ra từ lò hơi cùng với khí thải trong các nhà máy nhiệt điện than. Tùy thuộc vào nguồn than được đốt, thành phần của tro bay rất đa dạng. Nhìn chung, thành phần của tro bay thường bao gồm SiO_2, Al_2O_3, CaO và Fe_2O_3, tồn tại dưới dạng oxit vô định hình và oxit tinh thể. Theo tiêu chuẩn C 618 của Hiệp hội Thử nghiệm và Vật liệu Hoa Kỳ (American Society for Testing and Materials), tro bay có thể được phân loại thành loại C (class C) và loại F (class F) dựa trên hàm lượng oxit canxi. Tro bay loại C có hàm lượng canxi cao và chủ yếu được tạo ra từ quá trình đốt than non (lignite coal). Tro bay loại C có tổng hàm lượng SiO_2, Al_2O_3 và Fe_2O_3 từ 50% đến 70% và hàm lượng CaO trên 20%. Tro bay loại F có hàm lượng canxi thấp và được tạo ra từ quá trình đốt than antraxit (anthracite coal) hoặc than bitum (bituminous coal). Tro bay loại F có tổng hàm lượng SiO_2, Al_2O_3 và Fe_2O_3 trên 70% và hàm lượng CaO dưới 10%. (Zhuang et al., 2016).

Xỉ lò cao là chất thải công nghiệp phát sinh trong quá trình sản xuất thép. Quy trình điển hình bao gồm nung quặng sắt, đá vôi và than cốc ở nhiệt độ khoảng 1.400 ℃ - 1.500 ℃ trong lò cao, tạo thành xỉ nóng chảy. Xỉ nóng chảy này tiếp tục được làm nguội bằng cách sử dụng nước để tách các hạt sắt, và sản phẩm cuối cùng được được nghiền đến độ mịn mong muốn để sản xuất xỉ hạt lò cao nghiền mịn (ground-granulated blast-furnace slag) (Mishra et al., 2024).

PET, hay Polyethylene Terephthalate, là một loại nhựa phổ biến được sử dụng trong sản xuất các sản phẩm như chai nước, bao bì thực phẩm và hàng dệt may. Với đặc tính nhẹ, bền và đa năng, PET đã trở thành vật liệu thiết yếu trong xã hội hiện đại (Muringayil Joseph et al., 2024). PET là loại nhựa nhiệt dẻo, thuộc nhóm polyester. (Lazorenko et al., 2022).

2.2 Chất hoạt hóa

Geopolymer được tạo ra bởi các chất hoạt hóa, là các chất hóa học kích hoạt và duy trì sự hòa tan của các tiền chất aluminosilicat (aluminosilicat precursors) và phản ứng geopolymerization tiếp theo (Siyal et al., 2024). Các chất hoạt hóa được chia thành hai loại chính là chất hoạt hóa kiềm và chất hoạt hóa axit, và loại thứ nhất được sử dụng phổ biến hơn đáng kể so với loại thứ hai (Cong & Cheng, 2021).

Thông thường, chất hoạt hóa kiềm là hỗn hợp dung dịch lỏng của natri hydroxit (NaOH) và natri silicat (Na_2SiO_3) (Amer et al., 2021) và thường được sử dụng trong vật liệu geopolymer hai phần (two-part geopolymer) (Jaji et al., 2025). Ngoài ra, trái ngược với geopolymer hai phần, hỗn hợp geopolymer một phần (one-part geopolymer) chứa chất hoạt hóa kiềm ở dạng rắn (Mahendra & Narasimhan, 2023). Geopolymer một phần là hỗn hợp khô và thêm nước để tạo thành vữa xi măng (H. Y. Zhang et al., 2021).

2.3 Sự hòa tan

Quá trình chuyển đổi nguyên liệu aluminosilicat thành các loài phản ứng (reacting species) bằng cách sử dụng dung dịch kiềm hoặc axit được gọi là quá trình hòa tan geopolymer (Naderi Khorshidi et al., 2018), (J. shan Li et al., 2024), (Imtiaz et al., 2020).

Bước đầu tiên trong quá trình hòa tan geopolymer là tấn công vào cấu trúc aluminosilicat, phá vỡ các liên kết Si-O-Si và Si-O-Al, giải phóng các loài silicat (SiO_4) và aluminat (AlO_4) vào dung dịch (Madirisha et al., 2024). Sự hoạt hóa này thúc đẩy phản ứng thủy phân hóa học (hydrolysis), phá vỡ polyme (phân tử lớn) thành monome (phân tử nhỏ). Các monome này sau đó phản ứng với natri silicat (Na_2SiO_3) có sẵn trong hỗn hợp để tạo ra các oligome aluminosilicat, là các chuỗi ngắn của các loại silicat và aluminat (Chuewangkam et al., 2024).

2.4 Sự đóng rắn

Quá trình đóng rắn geopolymer bắt đầu với sự đa trùng ngưng (polycondensation) bằng phản ứng ngưng tụ của các oligome aluminosilicat (Castillo et al., 2022). Sau đó, với thời gian, áp suất và nhiệt độ nhất định, hỗn hợp đạt đến giai đoạn đông cứng và cường độ dài hạn (Ahmad et al., 2022).

3. Ứng dụng vật liệu geopolymer trong địa kỹ thuật

3.1 Gia cố đất

Một trong những ứng dụng chính của geopolymer trong lĩnh vực địa kỹ thuật là gia cố đất (soil stabilization). Thông thường, trong nhiều công trình xây dựng dân dụng, đất yếu thường được gia cố bằng xi măng Portland. Quy trình sản xuất xi măng tiêu tốn nhiều năng lượng và thải ra một lượng lớn CO_2. Geopolymer, với cường độ cao, chi phí thấp, tiêu thụ năng lượng và lượng khí thải CO_2 thấp trong quá trình tổng hợp, là một giải pháp thay thế đầy hứa hẹn cho xi măng Portland (M. Zhang et al., 2013).

Sự khác biệt đầu tiên giữa xi măng Portland thông thường và geopolymer là thành phần hóa học. Trong khi xi măng Portland có hàm lượng oxit canxi cao thì geopolymer có hàm lượng oxit nhôm cao (Nasir et al., 2024). Về phát thải CO_2 trong quá trình sản xuất, so với xi măng Portland, geopolymer thân hiện hơn với môi trường và giảm lượng phát thải khí CO_2 vì tận dụng phế phẩm công nghiệp và cần nhiệt độ thấp hơn (80-90 °C), tiêu thụ ít năng lượng hơn (Živica et al., 2015). Một ưu điểm nữa của geopolymer so với xi măng Portland là có cường độ nén cao hơn, phù hợp với môi trường khắc nghiệt chẳng hạn như giếng địa nhiệt hay giếng khoan sâu dầu khí (Adjei et al., 2022). Ngoài ra, do hàm lượng oxit nhôm cao nên geopolymer có khả năng chống ăn mòn sunfat tốt hơn xi măng Portland rất nhiều (Aliabdo et al., 2018). Đối với khả năng bền nhiệt, geopolymer chịu được nhiệt độ lên tới 1.200 °C trong khi xi măng Portland bị thoái biến ở khoảng 400-600 °C (Chen et al., 2021), (Lila et al., 2023). Một ưu thế quan trọng nữa của geopolymer là có tính thấm thấp so với xi măng thông thường. Tính thấm thấp của vật liệu vốn là đặc điểm được

ưu tiên trong nhiều ứng dụng của kỹ thuật xây dựng nói chung cũng như địa kỹ thuật nói riêng (Muthu & Sadowski, 2023).

Bảng 1 dưới đây so sánh cụ thể sự khác nhau giữa xi măng Portland và geopolymer theo các đặc tính riêng đã trình bày ở phần trên.

Bảng 1. *So sánh xi măng Portland và geopolymer*

STT	*Đặc tính*	*Xi măng Portland*	*Geopolymer*
1	Thành phần hóa học	Dựa trên canxi silicat, có hàm lượng oxit canxi cao	Dựa trên aluminosilicat, có hàm lượng oxit nhôm cao
2	Phát thải CO_2 do sản xuất	Cao	Thấp hơn xi măng Portland
3	Cường độ nén	Suy thoái trong môi trường khắc nghiệt	Thường cao hơn xi măng Portland, phù hợp với môi trường giếng khắc nghiệt
4	Độ bền	Dễ bị ăn mòn sunfat, phân hủy axit và nứt do nhiệt trong môi trường khắc nghiệt	Khả năng chống axit, sunfat và nhiệt độ cao rất tốt trong môi trường khắc nghiệt
5	Tính bền nhiệt	Thoái biến ở khoảng 400-600°C	Chịu được nhiệt độ lên tới 1,200°C
6	Tính thấm	Có thể phát triển các vết nứt nhỏ, làm tăng tính thấm	Thấp, hạn chế sự di chuyển của khí

Wassie và Demir đã thực hiện một nghiên cứu tổng quan về hoạt động gia cố đất yếu bằng các phế liệu công nghiệp tổng hợp geopolymer bao gồm tro bay, xỉ, metakaolin và các vật liệu khác như bột thủy tinh, olivin và bùn thải (A. Wassie & Demir, 2023). Thêm vào đó, Ayub và Khan ngoài việc điểm lại các vật liệu tổng hợp geopolymer để gia cố đất còn phân tích cơ chế tương tác giữa đất và geopolymer cũng như tác động của tiền chất (precursors) đến hình thái đất (soil morphology) (Ayub & Khan, 2023).

3.2 Nền móng công trình

Trong nền móng công trình, geopolymer thường được ứng dụng cho móng cọc. Cọc truyền thống được sử dụng cho móng sâu, chẳng hạn như thép, bê tông và gỗ, dễ bị ăn mòn và giảm khả năng chịu lực kết cấu theo thời gian. Điều này đã dẫn đến sự phát triển của các vật liệu mới để tăng khả năng chịu lực và bảo vệ bê tông khỏi bị ăn mòn (Lee, H., Choi, MK. & Kim, 2024). Như đã trình bày ở trên trong Bảng 1, geopolymer là một ứng cử viên rất triển vọng cho mục đích này. Hơn nữa, việc tận dụng các phế thải như một giải pháp nền móng thân thiện với môi trường.

Qingke và cộng sự đã thực một nghiên cứu cách sử dụng các nguyên liệu thô như bùn đỏ, tro bay, bột xỉ lò cao, cát, đá và dung dịch kiềm làm vật liệu cọc. Kết quả thử tải cho thấy trong nền đất sét pha, khả năng chịu nén thẳng đứng cực đại của cọc đơn geopolymer có chiều dài 10,0 m và đường kính cọc 520 mm là 753 kN. (Qingke et al., 2024). Hu và cộng sự đã nghiên cứu sự phát triển cường độ của cọc geopolymer đúc tại chỗ có hệ thống gia nhiệt. Hai loại tro bay loại F và một loại bùn đỏ đã được sử dụng để sản xuất geopolymer, và hai kiểu gia nhiệt đã được thiết kế và thử nghiệm trong nghiên cứu này. Theo kết quả thử nghiệm trong phòng thí nghiệm và ngoài hiện trường, cả hai kiểu gia nhiệt đều có thể thúc đẩy cọc geopolymer đạt được cường độ cần thiết trong thời gian ngắn với mức tiêu thụ điện năng hạn chế, trong khi cọc đối chứng không có hệ thống gia nhiệt vẫn yếu trong cùng khoảng thời gian (Hu et al., 2019).

Ngoài ra, geopolymer thường được ứng dụng để phụt vữa cho cọc (grouting piles). Phụt vữa cho cọc là quá trình bơm vật liệu vữa (thường là vữa xi măng hoặc vữa hóa học) vào trong hoặc xung quanh cọc nhằm tăng khả năng chịu tải, độ ổn định, khả năng chống thấm, hoặc cải thiện điều kiện đất nền xung quanh (da Rocha Gomes et al., 2023). Chẳng hạn trong nghiên cứu của Peng và cộng sự đã tổng hợp và đánh giá các loại vật liệu gia cường như geopolymer, sợi thép gia

cường (steel fiber), phụ gia siêu dẻo (superplasticizer). Nghiên cứu cho thấy việc sử dụng vật liệu geopolymer từ metakaolin, trong công nghệ thi công cọc khoan phụt vữa, với trọng tâm là cọc khoan guồng xoắn liên tục (CFA - Continuous Flight Auger) không chỉ cải thiện cường độ chịu kéo, cường độ nén và độ bền, mà còn giải quyết được những hạn chế của việc lắp đặt lồng thép khó khăn (Peng et al., 2020).

Đặc biệt hơn, geopolymer hiện nay đang được nghiên cứu để ứng dụng cho công nghệ mới là cọc năng lượng (energy piles). Cọc năng lượng đóng vai trò kép là trao đổi nhiệt với đất xung quanh và chịu tải trọng của kết cấu bên trên. Nó có thể thay thế hoặc giảm nhu cầu sưởi ấm và làm mát truyền thống, tiết kiệm năng lượng, mang lại lợi ích kinh tế và thân thiện với môi trường (Wang & Li, 2021). Zhang và cộng sự đã thực hiện một nghiên cứu nhằm mục đích tối ưu hóa các đặc tính nhiệt và cơ học của vật liệu geopolymer một phần (one-part geopolymer) cho các ứng dụng năng lượng địa nhiệt bằng cách kết hợp cả bột và cát cacbua silic. Kết quả cho thấy cường độ nén của vật liệu geopolymer một phần có thể đạt tới 83 MPa trong điều kiện đóng rắn ở nhiệt độ phòng, đồng thời độ dẫn nhiệt của nó đã tăng lên đáng kể khi kết hợp bột và cát cacbua silic (L. Zhang et al., 2023).

3.3 Ổn định mái dốc

Trong lĩnh vực ổn định mái dốc, geopolymer mở ra nhiều hướng ứng dụng tiềm năng, đặc biệt trong các công trình có yêu cầu cao về tính bền vững, khả năng chống xói mòn và chịu lực lâu dài.

Dudekula và Chigurupati đã thực hiện một nghiên cứu về hiệu quả của việc ổn định đất trương nở bằng geopolymer kết hợp với xỉ hạt lò cao nhằm tăng cường độ chịu lực và giảm xói mòn do mưa trên mái dốc. Việc bổ sung geopolymer vào cát pha sét đã tăng cường đáng kể độ bền nén nở hông (unconfined compression strength) ở tất cả các khoảng thời gian dưỡng hộ. Ngoài ra, tỷ lệ kiểm soát xói mòn đạt khoảng 40%. (Dudekula & Chigurupati, 2023).

Gao và cộng sự đã sử dụng vật liệu geopolymer tro bay hoàng thổ được xử lý bằng kết tủa canxi cacbonat do enzyme gây ra (enzyme-induced carbonate precipitation - EICP) để ổn định mái dốc sân bay. Nghiên cứu được đánh giá trên biến dạng do thấm ướt (wetting deformation) và phân rã do rung động (vibratory disintegration). Kết quả cho thấy công thức EICP tối ưu đã tăng độ bền trượt của vật liệu geopolymer từ 17% - 35% và cải thiện khả năng chống biến dạng của nó. Biến dạng do thấm ướt được giảm thiểu khi mức độ gắn kết của geopolymer tăng lên dưới ứng suất lệch. Các thử nghiệm phân rã do rung động cho thấy công thức EICP thích hợp làm giảm khả năng bị nước xói mòn của geopolymer, do đó cải thiện khả năng chống phân rã của nó với chỉ số kháng phân rã (disintegration resistance index) tối đa là 77,65% (Gao et al., 2025).

Li và cộng sự đã phát triển một loại phân bón tổng hợp polymer thân thiện với môi trường (eco-friendly polymer composite fertilizer) kết hợp với geopolymer gốc hoàng thổ, rơm ngô và axit acrylic, mang lại nhiều ưu điểm như chịu nhiệt tốt, chống rửa trôi và chống xói mòn do gió. Ngoài ra, nó còn có thể điều chỉnh độ pH của đất, cải thiện tỷ lệ nảy mầm và thúc đẩy sự phát triển của thảm thực vật trên sườn đồi hoàng thổ (T. Li et al., 2022).

4. Kết luận

Nghiên cứu này xem xét các nguyên lý cơ bản của quá trình geopolymerization, một quy trình tạo ra geopolymer từ vật liệu aluminosilicat và chất hoạt hóa. Ngoài ra, nghiên cứu cũng khám phá các ứng dụng của geopolymer trong lĩnh vực địa kỹ thuật. Những điểm nổi bật chính của công trình nghiên cứu này là:

- Geopolymer là vật liệu bền vững với môi trường, được tạo ra bằng cách hòa tan vật liệu aluminosilicat thô và chất hoạt hóa.

- Có nhiều ứng dụng của geopolymer trong lĩnh vực địa kỹ thuật như gia cố đất, nền móng công trình và ổn định mái dốc.

- Geopolymer có nhiều ưu điểm so với xi măng Portland như chi phí thấp hơn để sản xuất, tiêu

thụ năng lượng và lượng khí thải CO_2 thấp hơn, có cường độ nén, độ bền và tính bền nhiệt cao hơn trong khi tính thấm lại thấp hơn.

- Trong ứng dụng gia cố đất, geopolymer là một loại vật liệu thay thế tiềm năng cho xi măng Portland.

- Trong nền móng công trình, geopolymer có thể ứng dụng cho móng cọc, phụt vữa cho cọc và công nghệ mới như cọc năng lượng.

- Geopolymer được ứng dụng để ổn định mái dốc như tăng cường độ chịu lực và giảm xói mòn.

Tuy nhiên, một trong những nhược điểm chính của geopolymer so với xi măng Portland là chưa có một tiêu chuẩn chung toàn cầu. Điều này là do geopolymer là một loại vật liệu mới, cần phải tích lũy thêm dữ liệu nghiên cứu để chứng tỏ rõ ràng hiệu quả kinh tế cũng như an toàn kỹ thuật (Matsimbe et al., 2022). Đây cũng chính là khoảng trống nghiên cứu lớn nhất về geopolymer. Một khi vấn đề này được giải quyết, hiệu quả ứng dụng thực tiễn của geopolymer sẽ có một bước nhảy vọt đáng kể đồng thời góp phần vào công cuộc chống biến đổi khí hậu đang rất cấp bách hiện nay.

Lời cảm ơn

Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách khoa, Đại học quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh đã hỗ trợ cho nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

A. Wassie, T., & Demir, G. (2023). A Review on Stabilization of Soft Soils with Geopolymerization of Industrial Wastes. *International Journal of Engineering and Manufacturing*, *13*(2), 1–8. https://doi.org/10.5815/ijem.2023.02.01

Abdullah, M. M. A. B., Ming, L. Y., Yong, H. C., & Tahir, M. F. M. (2018). Clay-Based Materials in Geopolymer Technology. *Cement Based Materials*. https://doi.org/10.5772/intechopen.74438

Adjei, S., Elkatatny, S., Aggrey, W. N., & Abdelraouf, Y. (2022). Geopolymer as the future oil-well cement: A review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, *208*(PB), 109485. https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.109485

Ahmad, M., Rashid, K., Hameed, R., Ul Haq, E., Farooq, H., & Ju, M. (2022). Physico-mechanical performance of fly ash based geopolymer brick: Influence of pressure − temperature − time. *Journal of Building Engineering*, *50*(February), 104161. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104161

Aliabdo, A. A., Abd Elmoaty, A. E. M., & Mohamed, M. F. (2018). Permeability indices and corrosion resistance of geopolymer and Portland cement concretes. *Magazine of Concrete Research*, *70*(12), 595–609. https://doi.org/10.1680/jmacr.17.00151

Alshaaer, M., Alharbi, B., Alqahtani, O., Alotaibi, M. S., Alzayed, A., & Al-Kafawein, J. (2025). Synthesis and Characterization of Metakaolin–Wollastonite Geopolymer Foams for Removal of Heavy Metal Ions from Water. *Materials*, *18*(3), 1–16. https://doi.org/10.3390/ma18030678

Amer, I., Kohail, M., El-Feky, M. S., Rashad, A., & Khalaf, M. A. (2021). A review on alkali-activated slag concrete. *Ain Shams Engineering Journal*, *12*(2), 1475–1499. https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.12.003

Arokiasamy, P., Abdullah, M. M. A. B., Abd Rahim, S. Z., Sadique, M., Ming, L. Y., Mohd Salleh, M. A. A., Mohd Arif Zainol, M. R. R., & Ghazali, C. M. R. (2023). Diverse material based geopolymer towards heavy metals removal: A review. *Journal of Materials Research and Technology*, *22*, 126–156. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.11.100

Ayub, F., & Khan, S. A. (2023). An overview of geopolymer composites for stabilization of soft soils. *Construction and Building Materials*, *404*(August), 133195. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133195

Black, L. (2016). Low clinker cement as a sustainable construction material. In *Sustainability of Construction Materials* (Second Edi). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100370-1.00017-2

Castillo, H., Collado, H., Droguett, T., Vesely, M., Garrido, P., & Palma, S. (2022). State of the art of geopolymers: A review. *E-Polymers*, *22*(1), 108–124. https://doi.org/10.1515/epoly-2022-0015

Chen, K., Wu, D., Xia, L., Cai, Q., & Zhang, Z. (2021). Geopolymer concrete durability subjected to aggressive environments – A review of influence factors and comparison with ordinary Portland cement. *Construction and Building Materials*, *279*, 122496. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122496

Chuewangkam, N., Kidkhunthod, P., & Pinitsoontorn, S. (2024). Direct evidence for the mechanism of early-stage geopolymerization process. *Case Studies in Construction Materials*, *21*(May), e03539. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03539

Cong, P., & Cheng, Y. (2021). Advances in geopolymer materials: A comprehensive review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, *8*(3), 283–314. https://doi.org/10.1016/j.jtte.2021.03.004

Cyriaque Kaze, R., Naghizadeh, A., Tchadjie, L., Adesina, A., Noel Yankwa Djobo, J., Deutou Nemaleu, J. G., Kamseu, E., Chinje Melo, U., & Tayeh, B. A. (2022). Lateritic soils based geopolymer materials: A review. *Construction and Building Materials*, *344*(April), 128157. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128157

da Rocha Gomes, S., Ferrara, L., Sánchez, L., & Moreno, M. S. (2023). A comprehensive review of cementitious grouts: Composition, properties, requirements and advanced performance. *Construction and Building Materials*, *375*(March), 0–2. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130991

Davidovits, J. (1991). Geopolymers - Inorganic polymeric new materials. *Journal of Thermal Analysis*, *37*(8), 1633–1656. https://doi.org/10.1007/BF01912193

Davidovits, P. J. (2002). 30 Years of Successes and Failures in Geopolymer Applications . Market Trends and Potential Breakthroughs . *Geopolymer 2002 Conference*, 1–16.

Dudekula, J. R., & Chigurupati, S. (2023). An Application of Geopolymer stabilized expansive soil to reduce the rainfall-based erosion in slopes. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1280*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/1280/1/012037

El Alouani, M., Saufi, H., Aouan, B., Bassam, R., Alehyen, S., Rachdi, Y., El Hadki, H., El Hadki, A., Mabrouki, J., Belaaouad, S., Ez-Zaki, H., & Barka, N. (2024). A comprehensive review of synthesis, characterization, and applications of aluminosilicate materials-based geopolymers. *Environmental Advances*, *16*(January), 100524. https://doi.org/10.1016/j.envadv.2024.100524

Elgarahy, A. M., Maged, A., Eloffy, M. G., Zahran, M., Kharbish, S., Elwakeel, K. Z., & Bhatnagar, A. (2023). Geopolymers as sustainable eco-friendly materials: Classification, synthesis routes, and applications in wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*, *324*(June), 124631. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.124631

Fahim Huseien, G., Mirza, J., Ismail, M., Ghoshal, S. K., & Abdulameer Hussein, A. (2017). Geopolymer mortars as sustainable repair material: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *80*(May), 54–74. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.076

Gao, J., Wang, J., Zhang, D., Wang, F., & Qi, L. (2025). Enzyme-induced calcium carbonate precipitation treated loess fly ash-based geopolymer for airport slope stabilization: Evaluation of wetting deformation and vibratory disintegration. *Case Studies in Construction Materials*, *22*(November 2024), e04345. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04345

Gatta, G. D., & Lotti, P. (2018). Systematics, crystal structures, and occurrences of zeolites. In *Modified Clay and Zeolite Nanocomposite Materials: Environmental and Pharmaceutical Applications* (Vol. 1). Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814617-0.00001-3

Hu, W., Nie, Q., Huang, B., & Shu, X. (2019). Investigation of the strength development of cast-in-place geopolymer piles with heating systems. *Journal of Cleaner Production*, *215*, 1481–1489. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.155

Imtiaz, L., Ur Rehman, S. K., Memon, S. A., Khan, M. K., & Javed, M. F. (2020). A review of recent developments and advances in eco-friendly geopolymer concrete. *Applied Sciences (Switzerland)*, *10*(21), 1–56. https://doi.org/10.3390/app10217838

Jaji, M. B., Babafemi, A. J., & van Zijl, G. P. A. G. (2025). Mechanical performance of extrusion-based two-part 3D-printed geopolymer concrete: A review of advances in laboratory and real-scale construction projects. *Materials Today Sustainability*, *31*(May), 101131. https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2025.101131

Lazorenko, G., Kasprzhitskii, A., & Fini, E. H. (2022). Polyethylene terephthalate (PET) waste plastic as natural aggregate replacement in geopolymer mortar production. *Journal of Cleaner Production*, *375*(August), 134083. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134083

Lee, H., Choi, MK. & Kim, B. (2024). Feasibility of concrete-filled fiber-reinforced plastic piles for deep foundation: a comprehensive review on geotechnical and structural characteristics. *Carbon Letters*, *34*, 315–329. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s42823-023-00607-y

Lemougna, P. N., Melo, U. F. C., Kamseu, E., & Tchamba, A. B. (2011). Laterite based stabilized products for sustainable building applications in tropical countries: Review and prospects for the case of Cameroon. *Sustainability*, *3*(1), 293–305. https://doi.org/10.3390/su3010293

Li, J. shan, Zhang, W., Lang, L., Dong, C. xi, & Huang, K. (2024). Preparation and properties of geopolymer containing phosphoric acid-activated fly ash and mechanically-milled kaolinite: Experiments and density function theory. *Journal of Cleaner Production*, *441*(October 2023), 140992. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140992

Li, T., Dai, F., He, Y., Xu, D., & Wang, R. (2022). An Eco-Friendly Polymer Composite Fertilizer for Soil Fixation, Slope Stability, and Erosion Control. *Polymers*, *14*(7). https://doi.org/10.3390/polym14071461

Lila, O., Ameni, G., Benoit, N. A., Jenny, J., Guillaume, B., Patrice, D., Clifford, C., Eric, G., & Rossignol, S. (2023). Thermally resistant geopolymer to 1300 °C: Scale-up and structural evolution. *Open Ceramics*, *16*(September), 100462. https://doi.org/10.1016/j.oceram.2023.100462

Madirisha, M. M., Dada, O. R., & Ikotun, B. D. (2024). Chemical fundamentals of geopolymers in sustainable construction. *Materials Today Sustainability*, *27*(March), 100842. https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2024.100842

Mahendra, K., & Narasimhan, M. C. (2023). One part alkali-activated materials for construction - A review. *Materials Today: Proceedings*, *93*, 182–188. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.07.116

Mareddy, A. R. (2017). Impacts on soils and land environment. In *Environmental Impact Assessment*. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811139-0.00007-4

Matsimbe, J. (2022). Geopolymer: A Systematic Review of Methodologies. *Materials*, *15*(19).

Mishra, J., Nanda, B., Patro, S. K., & Krishna, R. S. (2024). A comprehensive review on compressive strength and microstructure properties of GGBS-based geopolymer binder systems. *Construction and Building Materials*, *417*(October 2023), 135242. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135242

Muringayil Joseph, T., Azat, S., Ahmadi, Z., Moini Jazani, O., Esmaeili, A., Kianfar, E., Haponiuk, J., & Thomas, S. (2024). Polyethylene terephthalate (PET) recycling: A review. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, *9*(January). https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100673

Muthu, M., & Sadowski, Ł. (2023). Performance of permeable concrete mixes based on cement and geopolymer in aggressive aqueous environments. *Journal of Building Engineering*, *76*(June). https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107143

Naderi Khorshidi, Z., Tan, X., Liu, Q., & Choi, P. (2018). Molecular dynamics study of the dissolution mechanism of kaolinite basal surfaces in alkali media. *Applied Clay Science*, *152*(May 2017), 29–37. https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.10.025

Nasir, M., Mahmood, A. H., & Bahraq, A. A. (2024). History, recent progress, and future challenges of alkali-activated binders – An overview. *Construction and Building Materials*, *426*(March), 136141. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136141

Nikolov, A., Rostovsky, I., & Nugteren, H. (2017). Geopolymer materials based on natural zeolite. *Case Studies in Construction Materials*, *6*, 198–205. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.03.001

Patil, S., Joshi, D., Mangla, D., & Savvidis, I. (2023). Recent development in geopolymer concrete: A review. *Materials Today: Proceedings*, *xxxx*. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.046

Peng, S., Yang, D., Wang, S., & Ping, C. (2020). A review on the geopolymer materials used in grouting piles. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *774*(1). https://doi.org/10.1088/1757-899X/774/1/012080

Qingke, N., Haiqing, Z., Haipeng, Y., Xiangxin, J., & Rihua, Z. (2024). Development and field test of Red mud-Fly Ash Geopolymer pile (RFP). *Cleaner Waste Systems*, *9*(September), 100184. https://doi.org/10.1016/j.clwas.2024.100184

Simanjuntak, W., Sembiring, S., Manurung, P., Situmeang, R., & Low, I. M. (2013). Characteristics of aluminosilicates prepared from rice husk silica and aluminum metal. *Ceramics International*, *39*(8), 9369–9375. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2013.04.112

Siyal, A. A., Radin Mohamed, R. M. S., Shamsuddin, R., & Ridzuan, M. B. (2024). A comprehensive review of synthesis kinetics and formation mechanism of geopolymers. *RSC Advances*, *14*(1), 446–462. https://doi.org/10.1039/d3ra06205h

Wan, Q., Rao, F., Song, S., García, R. E., Estrella, R. M., Patiño, C. L., & Zhang, Y. (2017). Geopolymerization reaction, microstructure and simulation of metakaolin-based geopolymers at extended Si/Al ratios. *Cement and Concrete Composites*, *79*, 45–52. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.01.014

Wang, J., & Li, Z. (2021). Experimental study of thermal response of vertically loaded energy pipe pile. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(13). https://doi.org/10.3390/su13137411

Zhang, H. Y., Liu, J. C., & Wu, B. (2021). Mechanical properties and reaction mechanism of one-part geopolymer mortars. *Construction and Building Materials*, *273*. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121973

Zhang, L., Wang, Y., Ding, B., Gu, J., & Cai, J. (2023). Study on the mechanical and thermal properties of one-part geopolymer composite for high performance in energy piles. *Case Studies in Construction Materials*, *19*(June), e02230. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02230

Zhang, M., Guo, H., El-Korchi, T., Zhang, G., & Tao, M. (2013). Experimental feasibility study of geopolymer as the next-generation soil stabilizer. *Construction and Building Materials*, *47*, 1468–1478. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.06.017

Zhuang, X. Y., Chen, L., Komarneni, S., Zhou, C. H., Tong, D. S., Yang, H. M., Yu, W. H., & Wang, H. (2016). Fly ash-based geopolymer: Clean production, properties and applications. *Journal of Cleaner Production*, *125*, 253–267. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.019

Živica, V., Palou, M. T., & Križma, M. (2015). Geopolymer Cements and Their Properties: A Review. *Building Research Journal*, *61*(2), 85–100. https://doi.org/10.2478/brj-2014-0007

Application of geopolymer materials in geotechnical engineering: a literature review

Tran Nguyen Thien Tam[1,*], Hoang Trong Quang[1]
[1]*Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT),*
Viet Nam National University Ho Chi Minh City (VNUHCM)
**Corresponding author: Email: trantam2512@hcmut.edu.vn*

Abstract

Geopolymer is an inorganic, environmentally friendly, binding material created by the interaction of an aluminosilicate precursor with an activator. The process of turning raw aluminosilicate material into geopolymer is known as geopolymerization. Geopolymer is used in a lot of different engineering disciplines, such as materials engineering, construction engineering, environmental engineering, etc. This review summarizes the fundamental knowledge of geopolymerization, focusing on the material composition and geopolymer formation processes. In particular, the paper reviews the role of geopolymer in the field of geotechnical engineering, including soil stabilization, foundation engineering, and slope stability. An overview of the research literature shows that geopolymer has numerous significant uses in civil engineering in general and geotechnical engineering in particular, especially in the context of developing environmentally sustainable materials to address the increasingly time-sensitive issues related to climate change.

Keywords: geopolymer, geopolymerization, geotechnical engineering, soil stabilization, foundation engineering

KỶ YẾU HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC
VIETGEO 2025

TRƯỜNG ĐẠI HỌC TRÀ VINH
NGÀY 24 & 25 THÁNG 10 NĂM 2025

CHỦ ĐỀ III

ĐỊA CHẤT THỦY VĂN, TÀI NGUYÊN NƯỚC VÀ MÔI TRƯỜNG

NGHIÊN CỨU XÂM NHẬP MẶN CÁC TẦNG CHỨA NƯỚC VEN BIỂN Ở VIỆT NAM: THỰC TRẠNG VÀ THÁCH THỨC

Phạm Quý Nhân[1,*]

[1]*Hội Địa chất thuỷ văn Việt Nam*

[*]*Tác giả liên hệ: Email: pqnhan@hunre.edu.vn*

Tóm tắt

Xâm nhập mặn (XNM) là một trong những thách thức lớn đối với công tác quản lý tài nguyên nước ngầm ven biển trong bối cảnh phát triển kinh tế nhanh, biến đổi khí hậu và mực nước biển dâng. Với đường bờ biển dài hơn 3.200 km cùng hai đồng bằng lớn - Đồng bằng sông Hồng (ĐBSH) và Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) - Việt Nam đang chịu tác động ngày càng nghiêm trọng của XNM. Bài báo này tổng quan các nghiên cứu trong và ngoài nước về: (i) cơ chế vật lý - địa hóa của XNM; (ii) các phương pháp nghiên cứu; (iii) hiện trạng XNM tại các vùng ven biển Việt Nam; (iv) các mô hình dự báo; (v) các giải pháp khai thác và quản lý bền vững; và (vi) những thách thức trong công tác nghiên cứu và quản lý. Kết quả tổng hợp cho thấy XNM ở Việt Nam có xu hướng gia tăng rõ rệt, đòi hỏi cách tiếp cận quản lý tổng hợp cùng các giải pháp kỹ thuật và chính sách phù hợp nhằm đảm bảo an ninh nguồn nước ven biển trong dài hạn. Tuy nhiên, sự thiếu hụt dữ liệu quan trắc dài hạn, hạn chế về hạ tầng nghiên cứu, cùng sự phức tạp của điều kiện địa chất - khí hậu đã làm gia tăng mức độ bất định trong công tác dự báo. Các giải pháp quản lý bền vững như điều chỉnh chế độ khai thác, xây dựng công trình kỹ thuật, bổ sung nhân tạo nước ngầm (MAR) và quản lý tổng hợp tài nguyên nước (IWRM) đã được nghiên cứu và thử nghiệm, song vẫn chưa được áp dụng rộng rãi trong thực tiễn.

Từ khóa: Nước ngầm ven biển; Xâm nhập mặn; Mô hình mật độ biến đổi; Bổ sung nhân tạo; Quản lý tổng hợp tài nguyên nước; Việt Nam.

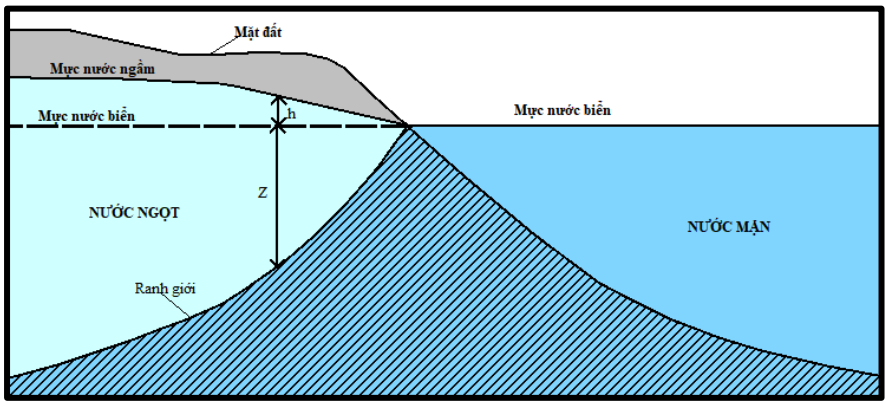
1. Giới thiệu

Nước ngầm ven biển là một trong những nguồn tài nguyên quan trọng đối với sự phát triển kinh tế - xã hội, đặc biệt tại các quốc gia có bờ biển dài và mật độ dân số cao. Trên thế giới, các tầng chứa nước (TCN) ven biển đang cung cấp nước cho hàng trăm triệu người, trong đó có nhiều khu vực đồng bằng đông dân cư như vùng ven biển Hà Lan, đồng bằng sông Hằng - Brahmaputra ở Bangladesh và Ấn Độ, hay vùng ven biển California (Werner et al., 2013). Tuy nhiên, do đặc điểm tiếp giáp trực tiếp với biển và thường xuyên bị khai thác mạnh, các TCN này cũng dễ bị tổn thương trước hiện tượng xâm nhập mặn (XNM) (Post, Kooi, & Simons, 2007).

Ở Việt Nam, nước ngầm ven biển đóng vai trò đặc biệt quan trọng trong việc bảo đảm an ninh nguồn nước. Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) là vựa lúa lớn nhất cả nước, đồng thời cũng là nơi tập trung sản xuất thủy sản và cây ăn trái quy mô lớn. Tại đây, nước ngầm được khai thác không chỉ cho sinh hoạt mà còn phục vụ tưới tiêu và chế biến thủy sản. Trong khi đó, Đồng bằng sông Hồng (ĐBSH) là trung tâm công nghiệp - đô thị hóa nhanh, nơi nước ngầm cung cấp cho hàng chục triệu dân và các khu công nghiệp ven biển. Các dải ven biển miền Trung, mặc dù hẹp hơn, nhưng cũng phụ thuộc nhiều vào nước ngầm do thiếu nguồn nước mặt vào mùa khô (Pham, Q.-N et al., 2023).

XNM là quá trình nước biển xâm nhập vào các TCN ngọt do chênh lệch mật độ và áp lực thủy lực, thường bị thúc đẩy bởi khai thác nước ngầm quá mức. Lý thuyết Ghyben-Herzberg đã mô tả mối quan hệ cân bằng đơn giản giữa mực nước ngầm và độ sâu của ranh giới mặn-ngọt (Hình 1). Tuy nhiên, thực tế phức tạp hơn nhiều do sự hiện diện của phân tán, dao động thủy triều, sóng, cũng như các quá trình địa hóa (Bear et al., 1999). Chỉ cần 1% nước biển hòa trộn cũng có thể khiến nước ngầm không còn phù hợp cho cấp nước sinh hoạt (Post et al., 2007).

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu, nước biển dâng và hạn hán gia tăng, XNM đang trở thành vấn đề nghiêm trọng ở Việt Nam. Tại ĐBSCL, các đợt hạn hán lịch sử năm 2016 và 2020 đã khiến XNM mở rộng hàng chục kilomet vào nội đồng, gây thiệt hại nặng nề cho sản xuất nông nghiệp và sinh hoạt (Liên đoàn Quy hoạch và Điều tra Tài nguyên nước miền Nam, 2020). Tại ĐBSH, nhiều giếng ven biển ở Thái Bình và Nam Định ghi nhận độ mặn tăng nhanh trong mùa khô (Tran, L. T. et al., 2012). Ở miền Trung, một số nghiên cứu tại Quảng Trị và Ninh Thuận cũng xác nhận tình trạng mặn hóa TCN Holocene do khai thác quá mức và hạn hán kéo dài (Liên đoàn Quy hoạch điều tra Tài nguyên nước miền Trung, 2013; Ngô Tuấn Tú, 2016; Quy Nhan Pham et al., 2019). Bài báo này nhằm tổng hợp các tri thức hiện có về XNM từ góc độ quốc tế và trong nước, tập trung vào đặc thù Việt Nam từ đó nêu bật các thách thức cần giải quyết trong giai đoạn tới.



Hình 1. Kết quả lời giải giải tích về ranh giới mặn - nhạt trong các tầng chứa không áp, tỷ trọng biến đổi và phân tán thủy động lực học (Ghyben, 1888 và Herzberg, 1901).

2. Các quá trình xâm nhập mặn

Xuất nhập mặn trong các TCN ven biển là một quá trình phức tạp, chịu sự chi phối của nhiều yếu tố thủy động lực, địa chất và địa hóa. Việc hiểu rõ cơ chế của XNM là điều kiện tiên quyết để xác định thực trạng, dự báo và xây dựng giải pháp quản lý bền vững.

2.1 Cơ sở lý thuyết Ghyben-Herzberg

Nghiên cứu lý thuyết đầu tiên về XNM dựa trên công trình của Ghyben (1888) và Herzberg (1901). Mô hình Ghyben-Herzberg giả định rằng nước ngầm ngọt nổi lên trên một "nêm mặn" do chênh lệch mật độ. Theo đó, cứ mỗi 1 m mực nước ngầm cao hơn mực nước biển sẽ tương ứng với khoảng 40 m chiều sâu của ranh giới mặn - ngọt (Bear et al., 1999).

Tuy nhiên, giả định này chỉ đúng trong điều kiện TCN đồng nhất, dòng chảy ổn định và không có sự phân tán. Thực tế, các TCN ven biển thường phức tạp hơn nhiều, khiến ranh giới không phải là một mặt phẳng sắc nét mà là một vùng chuyển tiếp rộng (Abarca, Carrera, Sanchez-Vila, & Dentz, 2007).

2.2 Tác động của khai thác nước ngầm

Hoạt động khai thác nước ngầm quá mức là nguyên nhân nhân sinh quan trọng nhất thúc đẩy XNM. Khi mực nước ngầm bị hạ thấp, ranh giới mặn - ngọt sẽ dịch chuyển vào trong đất liền. Hiện tượng XNM từ dưới đáy lên (upconing) có thể xảy ra khi giếng bơm quá mức ở gần vùng ven biển, khiến nước mặn từ bên dưới XNM lên vùng khai thác (Werner, Jakovovic, & Simmons, 2009).

Thí nghiệm trong bể cát của Jakovovic et al. (2011) cho thấy chỉ cần lưu lượng bơm lớn trong thời gian ngắn cũng có thể hình thành nón trồi mặn ổn định ngay dưới đáy giếng. Ở Việt Nam, hiện tượng này đã được ghi nhận ở các bãi giếng ven biển ĐBSCL, nơi khai thác mạnh vào mùa khô (Pham V.H, et al. 2019; Phạm Kim Trạch et al., 2019).

2.3 Ảnh hưởng của dao động thủy triều, sóng và nước dâng bão

XNM không phải là một quá trình tĩnh. Dao động thủy triều có thể làm cho vùng giao thoa mặn - ngọt dao động theo chu kỳ ngày và tháng (Ataie-Ashtiani, Volker, & Lockington, 2001). Sóng biển cũng góp phần thúc đẩy dòng chảy tuần hoàn ở vùng bờ, tạo điều kiện cho sự thâm nhập của nước mặn vào TCN ven biển (Inouchi, Nakano, & Mochizuki, 1990).

Đặc biệt, các hiện tượng nước dâng do bão có thể làm XNM tăng đột biến trong thời gian ngắn. Lu et al. (2013) đã chứng minh rằng trong điều kiện bờ biển dị đồng, nước dâng bão có thể làm dịch chuyển ranh giới mặn - ngọt hàng chục mét chỉ trong vài ngày. Đây là vấn đề đáng lưu ý đối với Việt Nam - một trong những quốc gia chịu ảnh hưởng mạnh mẽ nhất của bão và áp thấp nhiệt đới.

2.4 Vai trò của điều kiện địa chất thủy văn

XNM chịu tác động lớn của tính dị đồng và đặc điểm địa chất - thủy văn. Trong các TCN đồng nhất, vùng trộn có xu hướng hẹp. Ngược lại, trong điều kiện phân lớp hoặc có đứt gãy, XNM có thể lan truyền không đồng đều, tạo ra "lưỡi mặn" cục bộ (Held, Attinger, & Kinzelbach, 2005).

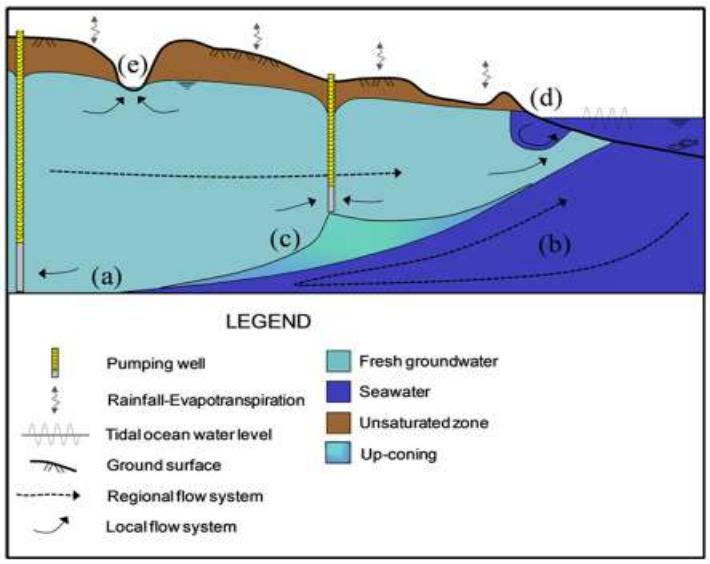
Ở môi trường karst, các khe nứt và hang động có thể trở thành đường dẫn ưu tiên cho nước mặn, khiến tốc độ xâm nhập nhanh hơn so với môi trường hạt rời (Fleury, Bakalowicz, & de Marsily, 2007). Điều này có ý nghĩa đặc biệt đối với các tỉnh ven biển miền Trung Việt Nam, nơi các TCN nứt nẻ, karst phân bố rộng rãi.

2.5 Các quá trình địa hóa trong vùng giao thoa mặn - ngọt

Ngoài thủy động lực, các quá trình địa hóa cũng có ảnh hưởng lớn đến XNM. Sự trộn lẫn giữa nước mặn và nước ngọt có thể làm mất cân bằng hóa học, dẫn đến:

- **Hòa tan carbonat:** Quá trình trộn gây undersaturation, làm hòa tan $CaCO_3$ và mở rộng độ rỗng (Plummer, 1975).
- **Trao đổi cation:** Nước mặn giàu Na^+ trao đổi với Ca^{2+} và Mg^{2+} trên bề mặt hạt sét, làm thay đổi thành phần ion (Beck et al., 2008).
- **Khử sulfat:** Trong điều kiện yếm khí, SO_4^{2-} có thể bị khử thành H_2S, làm nghèo sulfat trong vùng trộn (de Montety et al., 2008).

Ở Việt Nam, Tran et al. (2019) đã ghi nhận dấu hiệu trao đổi Na-Ca và khử sulfat ở các giếng ven biển ĐBSH, trong khi Pham V.H, et al., (2019); Hoang & Bäumle (2018) quan sát thấy sự gia tăng Na^+ và Cl^- đi kèm suy giảm Ca^{2+} trong các tầng Holocene ở ĐBSCL.



Hình 2. Sơ đồ khái quát các quá trình XNM của một TCN không áp ven biển, thể hiện: (a) điểm thể hiện mũi thấu kính nước mặn; (b) nước mặn với mật độ cao trong vùng nước biển; (c) hiện tượng XNM từ dưới lên do bơm hút từ giếng khai thác; (d) các quá trình XNM ở vùng ven biển, như mặt thấm theo thủy triều và vùng tuần hoàn nước mặn phía trên; (e) tương tác giữa nước mặt và nước dưới đất do chênh lệch cột áp (Werner et al., 2013).

Tóm lại: XNM là một quá trình phức tạp với nhiều cơ chế đồng thời. Việc chỉ dựa vào lý thuyết Ghyben-Herzberg là không đủ để mô tả thực tế. Các yếu tố khai thác, dao động thủy triều - sóng, điều kiện địa chất - thủy văn, và các phản ứng địa hóa đều phải được xem xét khi nghiên cứu

XNM. Ở Việt Nam, đặc thù địa chất đa dạng, khai thác mạnh và tác động của khí hậu nhiệt đới gió mùa đã làm cho XNM trở thành vấn đề ngày càng nghiêm trọng.

3. Các phương pháp nghiên cứu xâm nhập mặn

Nghiên cứu xâm nhập mặn (XNM) trong các TCN ven biển đã phát triển mạnh trong nhiều thập kỷ qua, với sự kết hợp giữa khảo sát thực địa, phân tích hóa học - đồng vị, địa vật lý và mô hình toán. Mỗi phương pháp có ưu điểm, hạn chế và phạm vi ứng dụng riêng, do đó trong thực tế thường được kết hợp để đưa ra cái nhìn toàn diện hơn (Werner et al., 2013).

3.1 Quan trắc thủy văn, địa chất thuỷ văn, thủy địa hóa

Phương pháp cơ bản nhất để nghiên cứu XNM là quan trắc mực nước và chất lượng nước ngầm. Các thông số thường được đo gồm mực nước, độ dẫn điện (EC), tổng chất rắn hòa tan (TDS), ion Cl^-, Na^+, Mg^{2+}, SO_4^{2-}. Chuỗi quan trắc dài hạn cho phép đánh giá xu thế XNM theo mùa và theo năm (Post, Kooi, & Simmons, 2007).

Ở Việt Nam, mạng lưới quan trắc tại ĐBSCL đã ghi nhận rõ ràng sự gia tăng độ mặn trong các mùa khô, đặc biệt trong các năm hạn hán lịch sử 2016 và 2020 (Liên đoàn Quy hoạch điều tra Tài nguyên nước miền Nam, 2020; Nguyễn Ngọc Quỳnh, 2020). Dữ liệu EC tại một số giếng ở Sóc Trăng và Bến Tre cho thấy sự gia tăng đột biến lên đến 2.000-3.000 µS/cm trong mùa khô, vượt xa giới hạn nước uống của WHO. Ưu điểm của công tác này là dễ triển khai, cung cấp dữ liệu trực tiếp, chi phí thấp trong khi hạn chế là độ phủ hạn chế, khó xác định không gian 3D của nêm mặn.

3.2 Phương pháp địa vật lý

Địa vật lý đã trở thành công cụ quan trọng trong nghiên cứu XNM vì độ nhạy cao với độ mặn của nước ngầm. Các kỹ thuật thường dùng gồm:

- **Điện trở suất (ERT):** Đo sự thay đổi điện trở suất theo chiều sâu và theo mặt cắt. Do nước mặn có độ dẫn điện cao, ERT cho phép xác định độ sâu vùng mặn - ngọt và vị trí ranh giới (Henderson et al., 2010).
- **Điện từ trường (EM):** Đo biến thiên trường điện từ, thích hợp cho khảo sát diện rộng và nhanh.
- **Radar xuyên đất (Ground Penetrating Radar - GPR) và địa chấn tầng nông:** Cung cấp thông tin cấu trúc địa chất, hỗ trợ giải thích dữ liệu ERT/EM.

Ở Việt Nam, ERT đã được áp dụng thành công tại nhiều nơi như Quảng Trị, Sóc Trăng… và xác định ranh giới mặn - ngọt ở độ sâu 20-50 m (Liên đoàn Quy hoạch điều tra Tài nguyên nước miền Nam, 2020; Vũ Thanh Tâm và Trần Thành Lê, 2014; Nguyễn Trường Giang, 2012; Nguyễn Văn Đản, 1996). Ưu điểm của phương pháp này là không phá hủy TCN, phủ rộng, có thể lập bản đồ 2D/3D trong khi hạn chế là độ phân giải phụ thuộc cấu trúc địa chất; cần hiệu chỉnh bằng dữ liệu thực địa.

3.3 Đồng vị và chất chỉ thị

Các đồng vị và chỉ thị hóa học cho phép phân biệt nguồn gốc nước mặn và cơ chế XNM.

- **Đồng vị bền (δ^2H, $\delta^{18}O$):** Phân biệt nước mưa, nước biển, và quá trình bay hơi (Clark & Fritz, 1997).
- **Đồng vị Sr ($^{87}Sr/^{86}Sr$):** Phân biệt mặn từ nước biển và muối đá (Bouchaou et al., 2008).
- **Đồng vị B ($\delta^{11}B$):** Xác định nguồn gốc nước mặn và phản ứng trao đổi cation (Han et al., 2011).
- **Tritium (^3H) và ^{14}C:** Xác định tuổi nước ngầm và quá trình mặn hóa trong thời gian dài.
- **Tỷ số ion (Cl^-/Br^-, Na^+/Cl^-):** Phân biệt mặn do xâm nhập trực tiếp từ biển hay do hòa tan muối cổ (Vengosh, 2003).

Ở ĐBSH, Larsen et al. (2019) đã sử dụng đồng vị để chứng minh sự tồn tại của cả nước mặn

cổ lẫn xâm nhập hiện đại. Ở ĐBSCL, phân tích δ^2H và $\delta^{18}O$ cho thấy sự kết hợp của nhiều cơ chế, bao gồm thẩm thấu nước biển và bay hơi trong vùng ven sông (Doan et al., 2018). Ưu điểm của phương pháp là xác định nguồn gốc mặn, phân biệt nhiều cơ chế khác nhau trong khi hạn chế là chi phí cao, yêu cầu thiết bị chuyên dụng và phân tích phức tạp.

3.4 Mô hình toán và mô hình số

Mô hình hóa là phương pháp không thể thiếu trong nghiên cứu XNM, giúp dự báo xu thế trong tương lai.

Mô hình giải tích: như công thức Ghyben-Herzberg, Strack, sử dụng cho tính toán sơ bộ (Bear et al., 1999).

Mô hình số: SEAWAT, SUTRA, MODFLOW-MT3D là những phần mềm phổ biến nhất (Langevin, Thorne, Dausman, Sukop, & Guo, 2007). Chúng cho phép mô phỏng XNM trong không gian 2D/3D, kể cả quá trình phân tán (Bảng 1).

Mô hình dịch chuyển - phản ứng: mô phỏng cả phản ứng địa hóa như trao đổi ion, hòa tan/kết tủa khoáng (Mao et al., 2006; Post & Prommer, 2007) (Bảng 1).

Ở Việt Nam, SEAWAT đã được áp dụng cho Ninh Thuận (Pham, Q.-N. et al. 2023; Nguyễn Minh Khuyến, 2009), Sóc Trăng và Bến Tre (Tran, Le, & Nguyen, 2020), ĐBSH (Larsen et al., 2012). Các kết quả đều chỉ ra rằng XNM sẽ mở rộng mạnh khi mực nước biển dâng 30-50 cm. Ưu điểm của phương pháp này là dự báo được xu thế, có thể mô phỏng kịch bản BĐKH trong khi hạn chế là cần dữ liệu đầu vào chi tiết, kết quả nhạy với tham số hiệu chỉnh.

Bảng 1. *Các phần mềm mô hình số dòng chảy và dịch chuyển XNM nước dưới đất phổ biến hiện nay (Werner, 2013)*

SI Code	Basic model features[a]	Model testing[b]	Practical SI applications
2D/3DFEMFAT	FE, SU	H	Zhang et al. [371]
FEFLOW	FE, SU, GUI	H, E, C	Gossel et al. [131], Watson et al. [345], Yechieli et al. [363]
FEMWATER	FE, SU, GUI		Datta et al. [89], Carneiro et al. [61]
HYDROGEOSPHERE	FE, SU	E, C	Thompson et al. [317], Graf and Therrien [133]
MARUN	FE, SU	H	Li and Boufadel [184], Abdollahi-Nasab et al. [6], Boufadel et al. [50,51]
MOCDENS3D	FD, S, GUI	H, E, R	Bakker et al. [33], Oude Essink [230,231,233], Oude Essink et al. [232], Giambastiani et al. [125], Vandenbohede and Lebbe [325,326], Vandenbohede et al. [328–331]
MODHMS	FD, SU, GUI	H	Werner and Gallagher [349]
SEAWAT	FD, S, GUI	H, E, C, R	Cherubini and Pastore [73], Bakker et al. [33], Langevin et al. [179], Vandenbohede and Lebbe [327], Webb and Howard [346], El-Bihery [108], Lin et al. [195], Mao et al. [208,209], Kourakos and Mantoglou [175,176], Abdullah et al. [7], Praveena et al. [253], Praveena and Aris [254], Luyun et al. [201], Goswami and Clement [132], Dausman et al. [94]
SUTRA	FE/FD, SU, GUI	H, E, C	Nishikawa et al. [225], Pool and Carrera [248]
SWI	FD, S, IF	R	Bakker et al. [33]

[a] FD – finite difference; FE – finite elements; IF – interface flow; S – saturated flow only; SU – saturated–unsaturated flow; GUI – dedicated graphical user interface available.
[b] E – Elder problem; H – Henry problem; C – HYDROCOIN salt-dome problem; R – rotating fluids problem.

3.5 Công nghệ mới: GIS, viễn thám, AI/ML

Sự phát triển của công nghệ đã mở ra hướng mới trong nghiên cứu XNM.

- **GIS và viễn thám:** Được dùng để lập bản đồ vùng nguy cơ XNM thông qua chỉ số NDWI, LST, hoặc phân tích biến đổi mặt nước (Shahid et al., 2022).
- **Trí tuệ nhân tạo (AI/ML):** Các mô hình học máy (Random Forest, SVM, ANN) đang được thử nghiệm để dự báo độ mặn dựa trên dữ liệu thủy văn - khí tượng (Ahmed et al., 2021).
- Ở Việt Nam, GIS kết hợp viễn thám đã được áp dụng ở Thanh Hóa, Quảng Ngãi để khoanh vùng XNM (Vu, 2015). Đây là hướng đi tiềm năng trong bối cảnh dữ liệu ngày càng phong phú.

Tóm lại: Không có phương pháp đơn lẻ nào có thể mô tả đầy đủ thực trạng và dự báo XNM. Việc kết hợp quan trắc thực địa, địa vật lý, đồng vị và mô hình số là xu hướng chung để có đánh giá toàn diện. Ở Việt Nam, nhiều nghiên cứu đã bước đầu áp dụng tích hợp này, song vẫn còn thiếu sự đồng bộ về dữ liệu và hạ tầng.

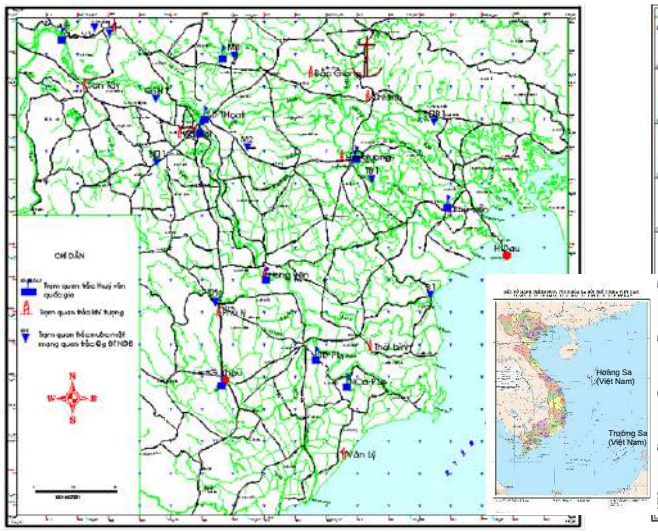
4. Nghiên cứu xâm nhập mặn ở Việt Nam

Xâm nhập mặn (XNM) đã được ghi nhận ở hầu hết các vùng ven biển Việt Nam, song mức độ và cơ chế khác nhau giữa các khu vực. ĐBSCL là nơi chịu ảnh hưởng nghiêm trọng nhất, tiếp đến là ĐBSH, và một số vùng ven biển miền Trung. Sự gia tăng XNM trong hai thập kỷ qua gắn liền với biến đổi khí hậu, mực nước biển dâng, khai thác nước ngầm quá mức và thay đổi sử dụng đất (Nguyen & Pham, 2018; Pham & Dang, 2020).

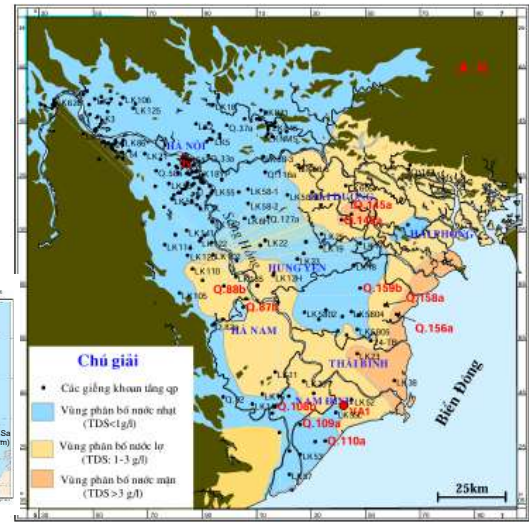
4.1 Đồng bằng sông Hồng

ĐBSH là trung tâm công nghiệp và đô thị lớn nhất miền Bắc. Nguồn nước ngầm chủ yếu khai thác từ các TCN Holocene và Pleistocene ven biển.

- **Gia tăng độ mặn cục bộ:** Tran, Pham & Nguyen (2019) ghi nhận nhiều giếng ven biển ở Thái Bình, Nam Định có Cl^- >250 mg/L vào cuối mùa khô.
- **Cơ chế XNM phức tạp:** Ngoài nước biển xâm nhập, còn có sự hòa tan muối cổ và ảnh hưởng của nước mặn cổ bị giam giữ trong trầm tích Holocene (Larsen et al., 2013).
- **Tác động nhân sinh:** Khai thác mạnh phục vụ đô thị hóa và công nghiệp hóa làm gia tăng nguy cơ XNM từ dưới lên tại các bãi giếng ven biển.



Hình 3. Sơ đồ mạng Quan trắc quốc gia nước dưới đất ĐBSH

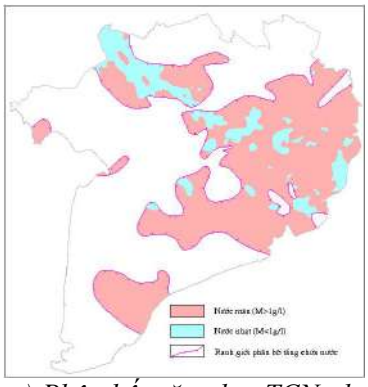


Hình 4. Bản đồ phân bố ranh giới mặn - nhạt trong tầng chứa qp

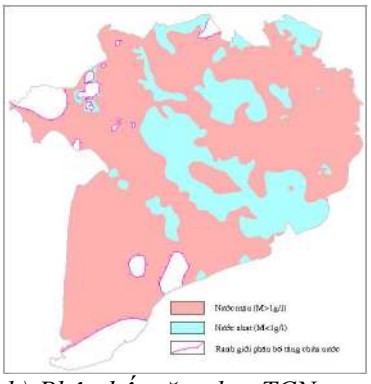
4.2 Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL)

ĐBSCL có diện tích trên 40.000 km², địa hình thấp, bị chia cắt bởi mạng lưới sông ngòi dày đặc. Vùng này có trữ lượng nước ngầm lớn, chủ yếu trong các TCN Q, N (Nguyen et al., 2015). Tuy nhiên, XNM đã và đang ảnh hưởng nặng nề đến chất lượng nước ngầm.

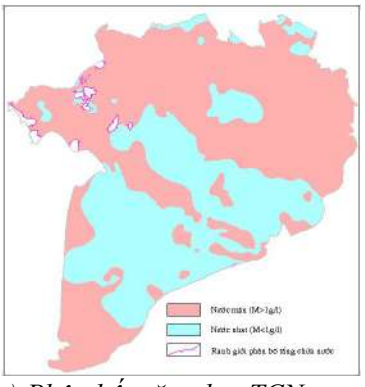
- **Hiện tượng gia tăng độ mặn theo mùa:** Trong mùa khô, ranh giới mặn có thể xâm nhập sâu 40-60 km vào nội đồng theo các cửa sông chính. Tại một số giếng khai thác ở Sóc Trăng và Bến Tre, EC tăng từ <500 µS/cm mùa mưa lên >3.000 µS/cm mùa khô (Nguyen & Pham, 2018).
- **Hạn hán 2016 và 2020:** Hai đợt hạn lịch sử này khiến XNM lan rộng bất thường, hơn 200.000 ha lúa bị thiệt hại và hàng trăm nghìn hộ dân thiếu nước XNMnh hoạt (Mekong River Commission, 2020).
- **Nghiên cứu địa hóa:** Phân tích ion và đồng vị cho thấy nhiều TCN Holocene bị nhiễm mặn hỗn hợp: một phần từ nước biển hiện đại, một phần từ nước mặn cổ bị giam giữ (Nguyen & Pham, 2018).



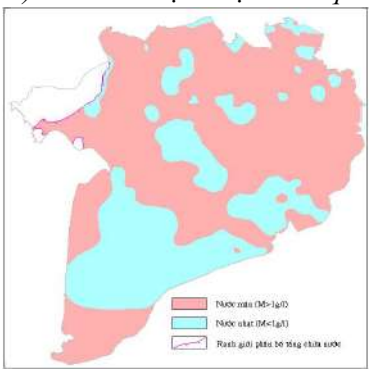
a) Phân bố mặn nhạt TCN qh



b) Phân bố mặn nhạt TCN qp_3



c) Phân bố mặn nhạt TCN qp_{2-3}



d) Phân bố mặn nhạt TCN qp_1

e) Phân bố mặn nhạt TCN n_2^2

f) Phân bố mặn nhạt TCN n_2^1

g) Phân bố mặn nhạt TCN n_1^3

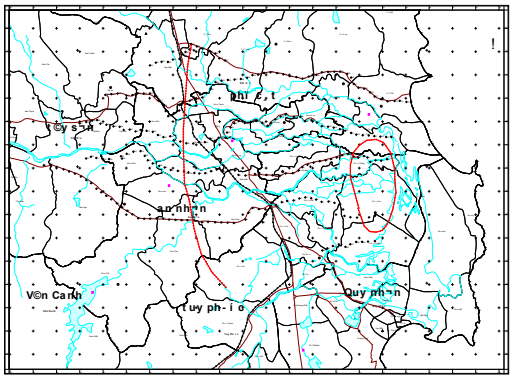
Hình 5. Bản đồ phân bố ranh giới các tầng chứa nước và ranh giới mặn - nhạt trong tầng chứa nước đó
a) TCN qh; b) TCN qp_3; c) TCN qp_{2-3};
d) TCN qp_1; e) TCN n_2^2; f) TCN n_2^1; TCN n_1^3

4.3 Các đồng bằng ven biển miền Trung

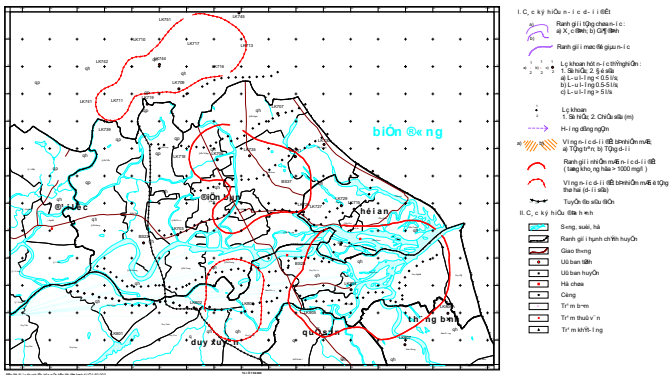
Miền Trung có đặc điểm địa hình hẹp, khan hiếm nước mặt vào mùa khô, dẫn đến phụ thuộc nhiều vào nước ngầm. Các nghiên cứu đã ghi nhận (Pham, Q.-N. et al. 2023; Nguyễn Minh Khuyến, 2009):

- Ninh Thuận: vùng nghiên cứu có đặc điểm thủy hóa thuận, nghĩa là càng xuống sâu, càng gần biển tổng độ khoáng hóa của nước càng cao và nước chuyển từ nhạt sang khoáng hóa cao sau đó là lợ và mặn.
- Bình Định: XNM bao trùm phần lớn phía Đông thành phố Quy Nhơn kéo lên phía Cát Thành, diện tích xấp xỉ 110 km^2. Tại vùng này nước nhạt chỉ tồn tại dưới dạng thấu kính trong các cồn cát, đụn cát ở những địa hình tương đối cao. Phía Bắc Quy Nhơn đến Phù Cát, dọc quốc lộ 1A và phía Tây thành phố dọc theo sông Hà Thanh ít bị ảnh hưởng bởi XNM.
- Quảng Nam: Đặc điểm phân bố mặn nhạt trong các TCN qh, qp rất phức tạp. Đối với TCN Pleistoxen vùng bị nhiễm mặn có diện tích lên đến 280 km^2, chiếm phần lớn diện tích trung tâm thị xã Điện Bàn, toàn bộ đồng bằng huyện Duy Xuyên, một phần phía Đông thành phố Hội An.

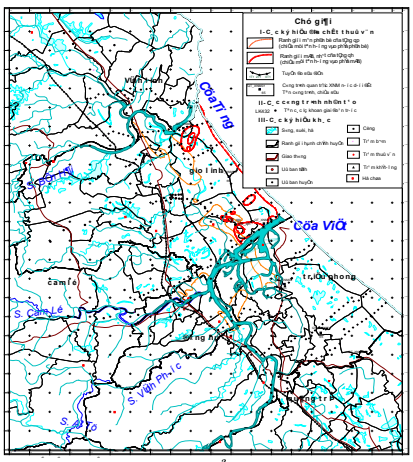
- **Quảng Trị:** TCN Holocene ven biển Gio Linh bị mặn hóa, Cl^- dao động 200-600 mg/L. ERT xác định ranh giới mặn ở độ sâu 20-40 m (Nguyen, 2017).
- Thanh Hoá: TCN qh_1 có diện phân bố rộng rãi, không lộ trên mặt, Hiện trạng XNM TCN này ở dạng "da báo" không đều theo các thấu kính chứa nước. Chủ yếu XNM ở vùng Hoằng Hoá một phần Tĩnh Gia. Vùng nước mặn trong tầng qp có diện tích khoảng 550 km^2. Độ mặn của nước biến đổi không theo quy luật từ Tây sang Đông, từ lục địa ra biển. Nhìn chung, vùng nước mặn trong tầng qp có cấu trúc kiểu da báo, nhiều chỗ có các khoảnh nhạt cục bộ.



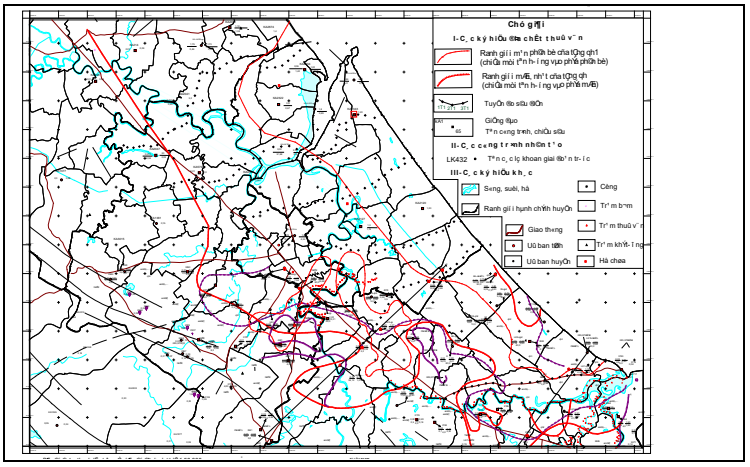
a. Vùng ven biển Bình Định



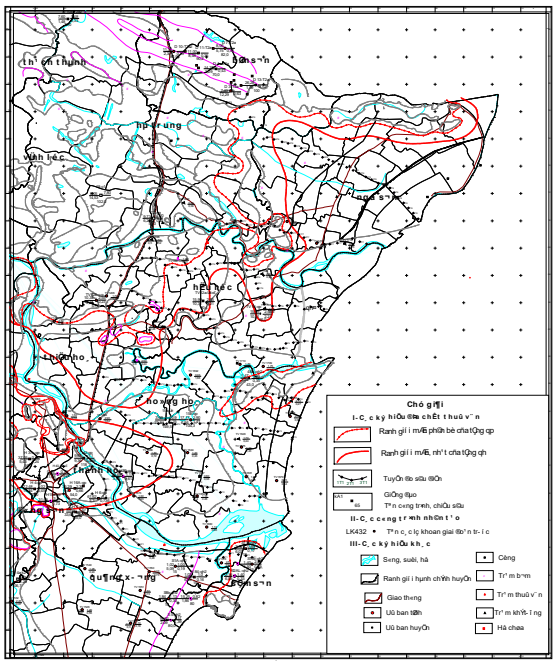
b. Vùng ven biển Quảng Nam



c. Vùng ven biển Quảng Trị



d. Vùng ven biển Hà Tĩnh



Hình 6. Bản đồ phân bố ranh giới mặn nhạt trong tầng chứa nước khu vực ven biển miền Trung

a) Bình Định b) Quảng Nam
c) Quảng Trị d) Hà Tĩnh
e) Thanh Hoá

4.4 Xu thế và đặc điểm chung

Tổng hợp các nghiên cứu cho thấy:

i. XNM ở Việt Nam có xu hướng gia tăng rõ rệt trong 20 năm qua, đặc biệt ở ĐBSCL.
ii. Nguồn mặn đa dạng, bao gồm nước biển hiện đại, nước mặn cổ, và khuếch tán từ trầm tích biển trong giai đoạn biển tiến gần nhất.
iii. TCN Holocene là đối tượng dễ tổn thương nhất, trong khi các tầng Pleistocene sâu hơn có nguy cơ mặn hóa chậm hơn nhưng khó phục hồi khi đã bị nhiễm.

Ảnh hưởng của cả biến đổi khí hậu, nước biển dâng (NBD) và Phát triển kinh tế xã hội: Biến đổi khí hậu và nước biển dâng làm tăng XNM theo quy mô vùng, còn khai thác quá mức gây XNM mang tính cục bộ.

5. Dự báo xâm nhập mặn

5.1 Vai trò của dự báo trong quản lý tài nguyên nước

Dự báo XNM là một công cụ thiết yếu để hoạch định chiến lược khai thác và bảo vệ nước ngầm ven biển. Bằng cách mô phỏng quá trình lan truyền mặn trong không gian và thời gian, các mô hình dự báo có thể đánh giá tác động của biến đổi khí hậu, mực nước biển dâng và kịch bản khai thác đến sự ổn định của TCN (Werner et al., 2013). Ở Việt Nam, nhu cầu dự báo ngày càng cấp bách, đặc biệt trong bối cảnh ĐBSCL liên tục đối mặt với các đợt hạn hán và XNM bất thường.

5.2 Các mô hình giải tích

Mô hình giải tích là những công thức toán học đơn giản dựa trên giả định cân bằng thủy lực. Ví dụ, công thức Ghyben-Herzberg ước tính độ sâu ranh giới mặn - ngọt theo mực nước ngầm. Strack (1976) đã mở rộng công thức này cho điều kiện dòng chảy một chiều.

Ưu điểm của các mô hình giải tích là dễ áp dụng, yêu cầu ít dữ liệu, phù hợp cho ước lượng sơ bộ trong khi hạn chế là bỏ qua phân tán, dao động triều, và dị đồng địa chất nên thường đánh giá XNM quá mức (Pool & Carrera, 2011).

Ở Việt Nam, mô hình giải tích chủ yếu dùng trong giai đoạn đầu các nghiên cứu khả thi hoặc để so sánh với mô hình số (Pham, Q.-N. et al. 2023; Nguyễn Minh Khuyến, 2009).

5.3 Các mô hình số

Mô hình số cho phép mô phỏng XNM trong không gian 2D, 3D, kể cả các quá trình phân tán và vận chuyển.

- SEAWAT: Là phần mềm phổ biến nhất, kết hợp MODFLOW và MT3D để mô phỏng dòng chảy ngầm có mật độ biến thiên (Langevin, Thorne, Dausman, Sukop, & Guo, 2007). Ở Việt Nam, SEAWAT đã được áp dụng cho ĐBSCL (Tran, Le, & Nguyen, 2020), ĐBSH (Larsen et al., 2012), và Ninh Thuận (Quy Nhan Pham et al., 2023). Các kết quả đều cho thấy XNM lan rộng thêm 5-15 km khi mực nước biển dâng 30-50 cm.

- SUTRA: Ưu tiên mô phỏng vận chuyển nhiệt - khối - muối trong môi trường nước dưới đất (Voss & Provost, 2002).

- MODFLOW-MT3D: Mô hình hóa dòng chảy và vận chuyển hòa tan, có thể tích hợp mô-đun mật độ.

- PHWAT: Cho phép mô phỏng kết hợp dịch chuyển mặn và phản ứng địa hóa.

Ưu điểm của phương pháp là có mô phỏng chi tiết, có thể chạy nhiều kịch bản trong khi hạn chế là yêu cầu dữ liệu lớn, nhạy cảm với tham số hiệu chỉnh, dễ dẫn đến bất định cao.

5.4 Mô hình dịch chuyển XNM - phản ứng

Một số nghiên cứu gần đây mở rộng mô hình số bằng cách tích hợp các phản ứng địa hóa. Ví dụ, Post & Prommer (2007) đã sử dụng mô hình vận chuyển - phản ứng để mô phỏng trao đổi

cation Na-Ca trong vùng trộn. Mao et al. (2006) cho thấy các phản ứng hòa tan - kết tủa carbonat có thể làm thay đổi đáng kể ranh giới mặn-ngọt.

Ở Việt Nam, hướng tiếp cận này mới ở mức thử nghiệm, chủ yếu trong nghiên cứu quy mô nhỏ (Tran et al., 2019).

5.5 Tích hợp GIS, viễn thám và AI/ML

Bên cạnh các mô hình toán, xu hướng mới là tích hợp dữ liệu lớn và công nghệ tính toán hiện đại:

- GIS và viễn thám: Hỗ trợ lập bản đồ vùng nguy cơ XNM dựa trên biến đổi mặt nước, NDWI, LST. Ở Thanh Hóa, GIS được dùng để khoanh vùng nguy cơ XNM trong các TCN ven biển (Vu, 2015).

- Trí tuệ nhân tạo (AI), học máy (ML): Các thuật toán học máy (Random Forest, SVM, ANN) được ứng dụng để dự báo độ mặn từ dữ liệu khí tượng-thủy văn (Ahmed et al., 2021). Đây là hướng nghiên cứu tiềm năng ở Việt Nam, đặc biệt khi dữ liệu quan trắc ngày càng phong phú.

Tóm lại: Dự báo XNM ở Việt Nam đã đạt được nhiều kết quả quan trọng nhưng vẫn còn khoảng trống. Phần lớn các nghiên cứu tập trung vào mô hình SEAWAT với kịch bản mực nước biển dâng, trong khi các yếu tố khác như khai thác nhân sinh, biến đổi sử dụng đất và phản ứng địa hóa chưa được mô phỏng đầy đủ. Trong tương lai, cần tích hợp các mô hình số với GIS, viễn thám và AI/ML để nâng cao khả năng dự báo.

6. Khai thác bền vững vùng xâm nhập mặn

XNM là một quá trình tự nhiên khó đảo ngược: khi TCN đã bị mặn hóa, việc khôi phục lại trạng thái ngọt là rất tốn kém và đôi khi không khả thi (Custodio & Bruggeman, 1987). Do đó, thay vì "chữa cháy", chiến lược quản lý nước ngầm ven biển cần tập trung vào phòng ngừa và khai thác bền vững. Điều này đặc biệt quan trọng ở Việt Nam, nơi nước ngầm ven biển là nguồn cung cấp thiết yếu cho hàng triệu dân và nền kinh tế nông nghiệp.

6.1 Quản lý khai thác hợp lý

Một trong những biện pháp cơ bản nhất là điều chỉnh lưu lượng và thời gian khai thác:

- **Giới hạn lưu lượng hút nước:** Nhiều nghiên cứu chỉ ra rằng nếu giảm công suất bơm vào mùa khô, nguy cơ trồi mặn sẽ giảm đáng kể (Dhar & Datta, 2009).
- **Khai thác theo mùa:** Tăng khai thác trong mùa mưa và giảm trong mùa khô để duy trì cân bằng thủy lực.
- **Phân bổ khai thác:** Tránh tập trung giếng bơm ở gần vùng ven biển hoặc các TCN dễ bị tổn thương (Đỗ Tiến Hùng, 2018; Nhan, P. Q, 2024).

Tại ĐBSCL, một số địa phương đã bước đầu thử nghiệm quy hoạch khai thác theo mùa vụ, song việc thực hiện còn hạn chế do thiếu hệ thống giám sát trực tuyến.

Bảng 2. *Phân loại kỹ thuật tối ưu trong quản lý XNM các TCN ven biển (Werner, 2013)*

Optimization category and simulation approaches[a]	Mixing zone[b]	Optimization technique[c]	Example References
EMA	IF	NLP	Shamir et al. [284]
	VD	NLP	Das and Datta [88]
SOA			
Numerical solution	IF	GA, NLP	Willis and Finney [357], Finney et al. [116], Emch and Yeh [112], Mantoglou et al. [207], Mantoglou and Papantoniou [206]
	VD	SA, GA	Qahman et al. [258], Abarca et al. [5]
Analytical solution	IF	LP, NLP, GA, ACO	Cheng et al. [70], Mantoglou [205], Cheng et al. [69], Park and Aral [238], Ataie-Ashtiani and Ketabchi [22]
Surrogate models			
RMA		LP, NLP, GA	Hallaji and Yazicigil [136], Abarca et al. [5], Karterakis et al. [165]
Neural networks and genetic programming	IF	GA	–
	VD	GA	Rao et al. [263], Bhattacharjya and Datta [45,46], Dhar and Datta [100], Kourakos and Mantoglou [175], Sreekanth and Datta [303,304]

[a] EMA: embedding approach; SOA: simulation–optimization approach; RMA: response matrix approach.
[b] IF: interface flow; VD: variable density flow.
[c] LP: linear programming; NLP: non-linear programming; EA: evolutionary algorithm; GA: genetic algorithm; SA: simulated annealing, ACO: ant-colony optimization.

6.2 Các giải pháp công trình giảm thiểu XNM

Ngoài quản lý khai thác, các giải pháp công trình cũng được áp dụng:

- Đập ngầm và tường chắn: Xây dựng tường ngầm để ngăn cản nước mặn tiến sâu vào TCN (Doan, 2010). Một số thử nghiệm ở miền Trung cho thấy hiệu quả cục bộ.

- Giếng thấm và giếng chắn: Tạo vùng bổ cập nhân tạo hoặc "rào chắn thủy lực" bằng cách bơm nước ngọt vào để đẩy lùi nêm mặn.

- Khai thác hỗn hợp nước mặt - nước ngầm: Giảm áp lực lên nước ngầm bằng cách kết hợp nguồn nước mặt trong mùa mưa (Bui Tran Vuong, 2012).

6.3 Bổ sung cho TCN có kiểm soát hoặc là bổ sung nhân tạo (Managed Aquifer Recharge - MAR)

MAR là giải pháp được nhiều nước áp dụng để kiểm soát XNM. Nguyên tắc là bổ sung nước ngọt (từ mưa, sông, hoặc nước đã xử lý) vào TCN để tạo "áp lực ngược" với XNM (Cheng & Ouazar, 2004).

Ở Việt Nam, một số nghiên cứu thử nghiệm MAR ở ĐBSCL, các đảo nhỏ cho thấy khả năng cải thiện chất lượng nước ngầm tại các giếng ven biển (Nguyễn Đình Tứ & Nguyễn Việt Kỳ, 2011; Pham Quy Nhan et al., 2023; Triệu Đức Huy, 2013). Tuy nhiên, hiệu quả còn phụ thuộc vào điều kiện địa chất, chất lượng nguồn bổ cập và chi phí vận hành.

6.4 Quản lý tổng hợp tài nguyên nước (IWRM)

Kinh nghiệm quốc tế cho thấy rằng XNM không thể giải quyết chỉ bằng giải pháp thủy văn hay kỹ thuật đơn lẻ. Thay vào đó, cần một **cách tiếp cận quản lý tổng hợp** (Integrated Water Resources Management - IWRM):

- Kết hợp quản lý nước mặt và nước ngầm.
- Liên kết quy hoạch nông nghiệp, công nghiệp, đô thị với quản lý nước.
- Tham gia của cộng đồng và chia sẻ dữ liệu minh bạch.

Ở Việt Nam, IWRM đã được đề cập trong một số dự án thí điểm tại ĐBSCL, song việc triển khai quy mô lớn vẫn còn nhiều trở ngại do thiếu phối hợp liên ngành (Pham, Q.-N. et al., 2023).

7. Những thách thức trong nghiên cứu xâm nhập mặn ở Việt Nam

- Thiếu dữ liệu quan trắc dài hạn và đồng bộ

Một trong những thách thức lớn nhất trong nghiên cứu XNM ở Việt Nam là sự thiếu hụt dữ liệu. Hệ thống quan trắc nước ngầm còn thưa thớt, không đồng bộ giữa các tỉnh và ít khi kéo dài trên 20 năm Thiếu dữ liệu quan trắc đồng bộ (Nguyễn Ngọc Quỳnh et al., 2020). Hơn nữa, dữ liệu thường tập trung vào mực nước mà chưa đi sâu vào thành phần hóa học, đồng vị. Điều này khiến việc hiệu chỉnh và kiểm định các mô hình dự báo gặp nhiều khó khăn (Post, Kooi, & Simmons, 2007).

- Điều kiện ĐCTV phức tạp và tính bất đồng nhất cao

Các TCN ven biển Việt Nam có đặc điểm là các trầm tích trẻ, xen kẽ bùn sét và cát, thường có tính dị đồng cao. Ngoài ra, nhiều vùng còn có đứt gãy và karst, khiến XNM diễn biến khó lường (Vũ Thanh Tâm et al., 2018). Các mô hình thủy động lực thường giả định đồng nhất, dẫn đến sai lệch lớn khi áp dụng trong thực tế (Werner et al., 2013;).

- Ảnh hưởng của biến đổi khí hậu và nước biển dâng

Việt Nam là một trong những quốc gia chịu ảnh hưởng nặng nề nhất bởi biến đổi khí hậu. Kịch bản mực nước biển dâng 30-50 cm vào năm 2050 sẽ làm XNM mở rộng sâu hơn vào đất liền từ 5-15 km ở nhiều khu vực ĐBSCL (Tran, Le, & Nguyen, 2020). Tuy nhiên, các nghiên cứu hiện nay mới chỉ dừng lại ở mô hình hóa trong phạm vi hẹp, chưa tích hợp đầy đủ các yếu tố khí tượng-thủy văn (hạn hán, thay đổi dòng chảy sông) vào mô phỏng XNM.

- Khoảng cách giữa kết quả nghiên cứu và chính sách được thực hiện

Mặc dù nhiều công trình khoa học đã chỉ ra xu thế gia tăng XNM, song việc chuyển hóa tri thức khoa học thành chính sách thực tiễn vẫn còn hạn chế. Các địa phương thường đối phó bị động, chỉ ứng phó khi XNM xảy ra nghiêm trọng, thay vì có kế hoạch phòng ngừa dài hạn. Thiếu sự phối hợp giữa các ngành (tài nguyên, nông nghiệp, xây dựng) càng làm cho quản lý XNM thiếu hiệu quả (Đoàn Văn Cánh, 2015).

- Hạn chế về hạ tầng nghiên cứu và công nghệ

Nghiên cứu XNM hiện đại đòi hỏi các công cụ phân tích đồng vị, địa vật lý tiên tiến và mô hình số hiện đại. Tuy nhiên, nhiều viện nghiên cứu trong nước vẫn thiếu thiết bị phân tích đồng vị (δ^2H, $\delta^{18}O$, $^{87}Sr/^{86}Sr$, $\delta^{11}B$) hoặc không có năng lực vận hành các mô hình phức tạp. Ngoài ra, hạ tầng tính toán lớn (HPC) còn hạn chế, khiến việc chạy các mô hình XNM 3D quy mô vùng trở nên khó khăn (Nguyen & Pham, 2018).

- Thách thức về nhận thức cộng đồng và quản lý khai thác

Một vấn đề khác là nhận thức của cộng đồng và doanh nghiệp khai thác nước ngầm còn hạn chế. Nhiều hộ gia đình và cơ sở sản xuất khai thác giếng ven biển mà không có giấy phép hoặc không tuân thủ hạn ngạch. Điều này làm trầm trọng thêm tình trạng XNM nhưng khó kiểm soát do thiếu giám sát.

Tóm lại: Các thách thức trong nghiên cứu XNM ở Việt Nam mang tính đa chiều: từ dữ liệu, địa chất, biến đổi khí hậu, công nghệ cho đến quản trị. Đây là những rào cản cần vượt qua nếu muốn xây dựng chiến lược quản lý bền vững. Trong bối cảnh đó, việc đầu tư cho mạng lưới quan trắc, hạ tầng nghiên cứu, cũng như tăng cường kết nối nghiên cứu - chính sách cần được ưu tiên hàng đầu.

8. Kết luận

XNM là một trong những thách thức lớn nhất đối với quản lý tài nguyên nước ngầm ven biển trên toàn cầu, và Việt Nam cũng không ngoại lệ. Qua tổng hợp các nghiên cứu, có thể thấy rằng XNM ở Việt Nam chịu sự chi phối đồng thời của các cơ chế thủy động lực, địa chất và địa hóa. Các nghiên cứu quốc tế đã cung cấp nền tảng lý thuyết và phương pháp luận quan trọng, nhưng việc áp dụng vào bối cảnh Việt Nam vẫn còn nhiều khoảng trống.

Trong hai thập kỷ qua, XNM tại ĐBSCL, ĐBSH và một số vùng miền Trung có xu hướng gia tăng rõ rệt, đặc biệt trong những năm hạn hán và mực nước biển dâng. Các TCN Holocene bị ảnh hưởng nặng nề nhất, trong khi các tầng sâu hơn cũng đang đối mặt với nguy cơ mặn hóa. Phương pháp nghiên cứu XNM tại Việt Nam đã đa dạng hơn, từ quan trắc thủy văn - thủy hóa truyền thống đến ứng dụng địa vật lý, đồng vị và mô hình số. Tuy nhiên, việc thiếu dữ liệu dài hạn, hạ tầng nghiên cứu hạn chế và sự phức tạp địa chất - khí hậu làm cho dự báo còn nhiều bất định.

Các giải pháp quản lý bền vững như điều chỉnh khai thác, công trình kỹ thuật, bổ sung nhân tạo (MAR), và quản lý tổng hợp tài nguyên nước (IWRM) đã được nghiên cứu và thử nghiệm, nhưng chưa được áp dụng rộng rãi. Thách thức chính hiện nay là thiếu kết nối giữa nghiên cứu và chính sách, cũng như sự tham gia của cộng đồng trong quản lý khai thác nước ngầm.

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu, để đảm bảo an ninh nguồn nước ven biển, Việt Nam cần:

1. Xây dựng cơ sở dữ liệu quốc gia về XNM, bao gồm cả dữ liệu quan trắc dài hạn và phân tích đồng vị.

2. Xây dựng các phòng thí nghiệm nghiên cứu hiện đại (địa vật lý, đồng vị), tính toán hiệu năng cao (High Performance Computing - HPC) và tăng cường hợp tác quốc tế.

3. Tích hợp các mô hình dự báo XNM với GIS, viễn thám và AI/ML để nâng cao mức độ chính xác và dễ phổ biến.

4. Đẩy mạnh thí điểm MAR và triển khai IWRM theo hướng đa ngành và có sự tham gia của

cộng đồng. Nghiên cứu nước ngầm thoát ra biển (Submarine Ground Water Discharge - SDG), hướng nghiên cứu mới còn bỏ ngỏ và rất có ý nghĩa trong phát triển KTXH, hệ sinh thái ở Việt Nam

Việc kết hợp tri thức khoa học quốc tế với bối cảnh đặc thù Việt Nam, cùng với sự phối hợp liên ngành và cam kết chính trị, sẽ là chìa khóa để quản lý bền vững nước ngầm ven biển trong tương lai.

Tài liệu tham khảo

Tài liệu tiếng Anh

Abarca, E., Carrera, J., Sanchez-Vila, X., & Dentz, M. (2007). Anisotropic dispersive Henry problem. *Advances in Water Resources, 30*(5), 913-916).

Bear, J., Cheng, A. H.-D., Sorek, S., Ouazar, D., & Herrera, I. (Eds.). (1999). *Seawater intrusion in coastal aquifers: Concepts, methods, and practices*. Kluwer Academic Publishers.

Beck, M., Dellwig, O., Liebezeit, G., Schnetger, B., & Brumsack, H.-J. (2008). Spatial and seasonal variations of sulphate, dissolved organic carbon, and nutrients in deep pore waters of intertidal flat sediments. *Estuarine, Coastal and Shelf Science, 79*(2), 307-316.

Boehmer, W., & Kootstra, J. (2000). *Groundwater study in Mekong Delta*. Haskoning B.V. Consulting Engineers and Architects (in association with Division of HydroGeology & Engineering Geology for the South of Vietnam; ARCADIS Euroconsult).

Bouchaou, L., Michelot, J. L., Vengosh, A., Hsissou, Y., Qurtobi, M., Gaye, C. B., et al. (2008). Application of multiple isotopic and geochemical tracers. *Journal of Hydrology, 352*(3-4), 267-287.

Chau, T. V., Tran, H. T., Doan, V. C., Dang, D. N., Nguyen, C. H., Nguyen, V. N., Nguyen, H. H., & Trinh, T. T. V. (2017). Genesis and quality of groundwater in the Southeastern region of Southern Vietnam. *Journal of Environmental Science and Engineering A, 6*(6), 277-292. https://doi.org/10.17265/2162-5298/2017.06.001

Cheng, A. H.-D., & Ouazar, D. (1999). Analytical solutions. In J. Bear, A. H.-D. Cheng, S. Sorek, D. Ouazar, & I. Herrera (Eds.), *Seawater intrusion in coastal aquifers* (pp. xx-xx). Kluwer Academic Publishers.

Cheng, A. H.-D., & Ouazar, D. (2004). *Coastal aquifer management: Monitoring, modeling, and case studies*. CRC Press.

Doan, V. C., Dang, D. N., & Nguyen, K. C. (2018). Formation and chemistry of the groundwater resource in the Mekong River Delta, South Vietnam. *Vietnam Journal of Science, Technology and Engineering, 60*(1), 57-67. https://doi.org/10.31276/VJSTE.60(1).57

Don, N. C., Hang, N. T. M., Araki, H. H., Yamanishi, H., & Koga, K. (2006). Effect of groundwater pumping on saltwater intrusion in a coastal plain, Vietnam. *International Commission of Agricultural Engineering, 8*(1), 1-8.

FAO. (1997). *Seawater intrusion in coastal aquifers: Guidelines for study, monitoring and control* (FAO Water Reports No. 11). FAO.

Fleury, P., Michel, B., & de Marsily, G. (2007). Submarine springs and coastal karst aquifers: A review. *Journal of Hydrology, 339*(1-2), 79-92.

Hoang, H. T., & Bäumle, R. (2018). Complex hydrochemical characteristics of the Middle-Upper Pleistocene aquifer in Soc Trang Province, Southern Vietnam. *Environmental Geochemistry and Health*. https://doi.org/10.1007/s10653-018-0167-z

Held, R., Attinger, S., & Kinzelbach, W. (2005). Homogenization and effective parameters for the Henry problem in heterogeneous formations. *Water Resources Research, 41*(2), 1-14.

Langevin, C. D., Thorne, D. T., Dausman, A. M., Sukop, M. C., & Guo, W. (2007). *SEAWAT version 4: A computer program for simulation of multi-species solute and heat transport*. USGS Techniques and Methods, Book 6, Chapter A22.

Larsen, F., Tran, L. V., Hoan, H. V., Hinsby, K., Viet, P. H., & Pham, Q. N. (2017). Groundwater salinity influenced by Holocene seawater trapped in incised valleys in the Red River Delta plain. *Nature Geoscience, 10*(5), 376-381. https://doi.org/10.1038/ngeo2938

Lu, C., Xin, P., Li, L., & Luo, J. (2013). Tide- and storm-driven dynamic saltwater recirculation in a subterranean estuary. *Water Resources Research, 49*(5), 1-15.

Mao, X., Prommer, H., Barry, D. A., Langevin, C., Panteleit, B., & Li, L. (2006). Reactive transport modeling of seawater intrusion. *Environmental Science & Technology, 40*(23), 7601-7607.

Nhan, P. Q., Trung, D. T., Le, T. T., Hung, N. K., Hoang, P. M., & Thinh, T. D. (2024). A simplified approach of pumping rate optimization for production wells to mitigate saltwater intrusion: A case study in Vinh Hung District, Long An Province, Vietnam. *Hydrology, 11*(11), 185. https://doi.org/10.3390/hydrology11110185

Pham, Q.-N., Nguyen, T.-C., Ta, T.-T., & Tran, T.-L. (2023). Comprehensive approach to sustainable groundwater management in semi-arid Ninh Thuan plain, Vietnam. *Groundwater for Sustainable Development, 23*, 101031. https://doi.org/10.1016/j.gsd.2023.101031

Pham, Q.-N., Nguyen, N.-H., Ta, T.-T., & Tran, T.-L. (2023). Vietnam's water resources: Current status, challenges, and security perspective. *Sustainability, 15*(8), 6441. https://doi.org/10.3390/su1508644

Pham, V. H., Van Geer, F. C., Tran, V. B., Dubelaar, W., & Essink, G. H. O. (2019). Paleo-hydrogeological reconstruction of the fresh-saline groundwater distribution in the Vietnamese Mekong Delta since the late Pleistocene. *Journal of Hydrology: Regional Studies, 23*, 100594.

Plummer, L. N. (1975). Mixing of seawater with calcium carbonate groundwater. *Geological Society of America Memoir, 142*, 219-236.

Pool, M., & Carrera, J. (2011). A correction factor to account for mixing in Ghyben-Herzberg and critical pumping rate approximations. *Journal of Hydrology, 400*(1-2), 45-56.

Post, V. E. A., & Prommer, H. (2007). Multicomponent reactive transport simulation of cation exchange: A benchmark problem on variable-density flow and transport. *Journal of Hydrology, 332*(3-4), 405-417.

Post, V. E. A., Kooi, H., & Simmons, C. T. (2007). Using hydraulic head measurements in variable-density groundwater flow analyses. *Ground Water, 45*(5), 664-671.

Pham, Q. N., Ta, T. T., Tran, T. L., & Pham, T. T. (2019). Assessment of saltwater intrusion vulnerability in the coastal aquifers in Ninh Thuan, Vietnam. In *EDESUS*. Springer.

Shahid, S., et al. (2022). Application of remote sensing and GIS for seawater intrusion mapping. *Environmental Earth Sciences, 81*(3), 1-17.

Tran, L. T., Larsen, F., Nhan, P. Q., & Hinsby, K. (2012). Origin and extent of fresh groundwater, salty paleowaters and recent saltwater intrusions in Red River flood plain aquifers, Vietnam. *Hydrogeology Journal, 20*(7), 1295-1313. https://doi.org/10.1007/s10040-012-0874-y

Vengosh, A. (2003). Salinization and saline environments. In B. Sherwood Lollar (Ed.), *Treatise on geochemistry* (Vol. 9, pp. 333-365). Elsevier.

Voss, C. I., & Provost, A. M. (2002). *SUTRA: A model for saturated-unsaturated, variable-density ground-water flow with solute or energy transport*. USGS Water Resources Investigations Report 02-4231.

Werner, A. D., et al. (2013). Seawater intrusion processes, investigation and management: Recent advances and future challenges. *Advances in Water Resources, 51*, 3-26.

Werner, A. D., Jakovovic, D., & Simmons, C. T. (2009). Experimental observations of saltwater upconing. *Advances in Water Resources, 32*(8), 1218-1226.

Tài liệu tiếng Việt

Bộ Tài nguyên và Môi trường. (2008). *Chương trình mục tiêu quốc gia ứng phó với biến đổi khí hậu tại Việt Nam*. Nhà xuất bản Tài nguyên Môi trường và Bản đồ Việt Nam.

Bộ Tài nguyên và Môi trường. (2016). *Kịch bản biến đổi khí hậu, nước biển dâng cho Việt Nam*. Nhà xuất bản Tài nguyên Môi trường và Bản đồ Việt Nam.

Bùi, T. V. (2014). Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến tài nguyên nước dưới đất vùng Đồng bằng sông Cửu Long, đề xuất các giải pháp ứng phó. Lưu trữ Liên đoàn Quy hoạch và Điều tra Tài nguyên nước miền Nam.

Bùi, T. V., & Nguyễn, T. K. T. (2005). *Bổ sung nhân tạo nước dưới đất* (Đề tài độc lập cấp Nhà nước, KC08-07/2004). Bộ Khoa học và Công nghệ.

Cục Quản lý Tài nguyên nước. (2009). *Điều tra đánh giá tiềm năng khai thác nước dưới đất phục vụ phát triển kinh tế - xã hội vùng cát ven biển tỉnh Bình Thuận, Ninh Thuận, Khánh Hòa, Phú Yên*. Lưu trữ Cục Quản lý Tài nguyên nước.

Đỗ, T. H. (1994). Tính toán lưu lượng khai thác bền vững cũng như bố trí lại các công trình khai thác nước ven biển nhằm giảm thiểu xâm nhập mặn..

Đoàn 2F. (1998). *Lập bản đồ địa chất thủy văn - địa chất công trình tỷ lệ 1:50.000 vùng Thanh Hóa*. Liên đoàn Quy hoạch và Điều tra Tài nguyên nước miền Bắc.

Đoàn, V. C. (2010). *Nghiên cứu cơ sở khoa học và xây dựng các giải pháp lưu giữ nước mưa vào lòng đất phục vụ chống hạn và bảo vệ tài nguyên nước dưới đất vùng Tây Nguyên* (Đề tài độc lập cấp Nhà nước, mã số ĐTĐL.2007G/44). Bộ Khoa học và Công nghệ.

Đoàn, V. C. (2015). *Nghiên cứu đề xuất các tiêu chí và phân vùng khai thác bền vững, bảo vệ tài nguyên nước dưới đất vùng đồng bằng Bắc Bộ và duyên hải Bắc Bộ* (Mã số KC.08.06/11-15). Bộ Khoa học và Công nghệ.

Liên đoàn Quy hoạch và Điều tra Tài nguyên nước miền Nam. (2020). *Báo cáo kết quả điều tra, tìm kiếm nguồn nước dưới đất vùng núi cao, vùng khan hiếm nước các tỉnh Đồng bằng Nam Bộ*. Lưu trữ tại Trung tâm Thông tin dữ liệu, Trung tâm Quy hoạch và Điều tra Tài nguyên nước Quốc gia.

Liên đoàn Quy hoạch và Điều tra Tài nguyên nước miền Trung. (2013). *Lập bản đồ địa chất thủy văn tỷ lệ 1:50.000 các tỉnh Ninh Thuận và Bình Thuận*. Lưu trữ Liên đoàn Quy hoạch và Điều tra Tài nguyên nước miền Trung.

Liên đoàn Quy hoạch và Điều tra Tài nguyên nước miền Trung. (2013). *Báo cáo kết quả điều tra, tìm kiếm nguồn nước dưới đất vùng núi cao, vùng khan hiếm nước các tỉnh miền Trung*. Lưu trữ tại Trung tâm Thông tin dữ liệu, Trung tâm Quy hoạch và Điều tra Tài nguyên nước Quốc gia.

Ngô, T. T., & nnk. (2016). *Báo cáo phân tích, lập bản đồ khoanh vùng phân bố các cấu trúc có khả năng lưu giữ nước dưới đất cho các vùng lựa chọn tỷ lệ 1:100.000 phục vụ xây dựng mô hình lưu giữ nước trong đới chứa nước*. Liên đoàn Quy hoạch và Điều tra Tài nguyên nước miền Trung.

Nguyễn, Đ. T., & Nguyễn, V. K. (2011). Mô hình pilot bổ sung nhân tạo nước dưới đất bằng nước mưa tại ký túc xá Đại học Quốc gia TP.HCM. *Tạp chí Phát triển Khoa học & Công nghệ, 14*(M2-2011).

Nguyễn, H. D., & nnk. (2004). *Phân chia địa tầng N-Q và nghiên cứu cấu trúc địa chất duyên hải Bắc Bộ* (Báo cáo đề tài). Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam. Lưu tại Thư viện Liên đoàn ĐCTV-ĐCCT Miền Nam.

Nguyễn, M. K. (2009). *Nghiên cứu mối quan hệ giữa các tầng, phức hệ chứa nước với tiềm năng tài nguyên nước và đề xuất giải pháp trữ nước và bổ sung nhân tạo nước dưới đất: Thí điểm áp dụng cho lưu vực sông Cái (Kinh Dinh), tỉnh Ninh Thuận* (Đề tài cấp Bộ). Bộ Tài nguyên và Môi trường.

Nguyễn, N. Q., & nnk. (2010-2020). *Kết quả quan trắc tài nguyên nước - Nhiệm vụ "Quan trắc quốc gia tài nguyên nước"*. Liên đoàn Quy hoạch và Điều tra Tài nguyên nước miền Nam.

Nguyễn, Q. D. (2019). *Nghiên cứu xây dựng mô hình thu và lưu giữ nước phục vụ cấp nước sạch hiệu quả cho vùng khô hạn, khan hiếm nước Ninh Thuận - Bình Thuận* (Đề tài ĐLCNN, mã số ĐTĐL-CN.63/15). Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.

Nguyễn, T. K. T. (2007). *Nghiên cứu cơ sở khoa học và công nghệ bổ sung nhân tạo nước dưới đất nhằm đảm bảo khai thác bền vững tài nguyên nước tại Việt Nam* (Đề tài độc lập cấp Nhà nước, KC08-07/2004). Bộ Khoa học và Công nghệ.

Nguyễn, T. V., & nnk. (2005). *Kết quả quan trắc động thái nước dưới đất vùng Nam Bộ giai đoạn 2000-2005*. Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam. Lưu trữ Liên đoàn ĐCTV-ĐCCT Miền Nam.

Nguyễn, T. G. (1992). *Lập bản đồ địa chất thủy văn tỷ lệ 1:50.000 vùng Gio Linh, Quảng Trị*. Liên đoàn Quy hoạch và Điều tra Tài nguyên nước miền Bắc.

Nguyễn, V. Đ. (1996). *Tài nguyên nước khu vực đồng bằng Bắc Trung Bộ và Nam Trung Bộ*. Tổng cục Địa chất Khoáng sản Việt Nam.

Phạm, K. T., & nnk. (2019). *Điều tra, đánh giá tài nguyên nước dưới đất vùng kinh tế trọng điểm Đồng bằng sông Cửu Long* (Báo cáo dự án). Lưu trữ tại Liên đoàn Quy hoạch và Điều tra Tài nguyên nước miền Nam.

Phạm, Q. N. (2006). *Ứng dụng hệ thống thông tin địa lý (GIS) trong quản lý nước dưới đất ở Việt Nam* (Đề tài cấp Bộ). Bộ Giáo dục và Đào tạo.

Phạm, Q. N. (2014). *Nghiên cứu ứng dụng phần mềm SUTRA để tính toán xác định dịch chuyển của dòng thấm với mật độ vào tầng chứa nước: Áp dụng cho vùng đảo Cồn Cỏ, Quảng Trị* (Đề tài KHCN cấp Bộ). Bộ Giáo dục và Đào tạo.

Phạm, T. T., Phạm, Q. N., & Lê, V. H. (2015). Nghiên cứu đánh giá mức độ tổn thương do xâm nhập mặn ở các tầng chứa nước trầm tích Đệ tứ ven biển trong bối cảnh biến đổi khí hậu vùng thị xã Sầm Sơn, Thanh Hóa. Trong *Kỷ yếu Hội nghị Khoa học Toàn quốc Kỷ niệm 70 năm phát triển Địa chất và Tài nguyên Việt Nam*. (ISBN 978-604-913-413-5).

Trần, H. P. (1988). *Lập bản đồ địa chất thủy văn Việt Nam tỷ lệ 1:500.000*. Tổng cục Địa chất Khoáng sản Việt Nam.

Trần, H. P., & nnk. (1996). *Điều tra địa chất đô thị vùng kinh tế trọng điểm phía Nam* (Báo cáo kết quả). Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam. Lưu tại Thư viện Liên đoàn ĐCTV-ĐCCT Miền Nam.

Trần, T. L., & Phạm, Q. N. (2019). *Các phương pháp đánh giá khả năng tự bảo vệ các tầng chứa nước đặc trưng ở Việt Nam*. Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật.

Trần, V. L., Phạm, Q. N., & Lê, V. H. (2014). Dự báo dịch chuyển ranh giới mặn - nhạt do khai thác nước dưới đất trên đảo Cồn Cỏ. *Tạp chí Khoa học Tài nguyên và Môi trường*. ISSN 0866-7608.

Triệu, Đ. H. (2013). *Nghiên cứu mô hình trữ nước mưa bổ sung nhân tạo cho nước dưới đất bảo đảm phát triển kinh tế - xã hội các đảo khu vực Đông Bắc Việt Nam: Thử nghiệm ở đảo Quan Lạn* (Đề tài cấp Bộ, mã số TNMT.02.16). Bộ Tài nguyên và Môi trường.

Trung tâm Quy hoạch và Điều tra Tài nguyên nước Quốc gia. (2023). *Điều tra, tìm kiếm nguồn nước dưới đất tại các vùng núi cao, vùng khan hiếm nước*. Lưu trữ tại Trung tâm Thông tin dữ liệu, Trung tâm Quy hoạch và Điều tra Tài nguyên nước Quốc gia.

Võ, C. N. (2003). Bàn thêm về sự cần thiết và khả năng áp dụng phương pháp bổ sung nhân tạo nước ngầm ở vùng duyên hải Bình Thuận. Trong *Kỷ yếu Hội thảo về phương pháp bổ sung nhân tạo nước ngầm*.

Vũ, T. T., & nnk. (2018). *Biên hội thành lập bản đồ địa chất thủy văn toàn quốc tỷ lệ 1:200.000*. Trung tâm Quy hoạch và Điều tra Tài nguyên nước Quốc gia.

Vũ, T. T., & Trần, T. L. (2014). *Nghiên cứu xây dựng bộ công cụ đánh giá ảnh hưởng của biến đổi khí hậu và nước biển dâng đến tài nguyên nước dưới đất và khả năng đáp ứng nhu cầu sử dụng nước cho người dân ở các vùng ven biển Việt Nam* (Mã số FWO.2011.38). Trung tâm Quy hoạch và Điều tra Tài nguyên nước Quốc gia.

Study on saltwater intrusion into coastal aquifers in Vietnam: current status and challenges

Pham Quy Nhan[1,*]

[1]*Vietnam Hydrogeological Association*

[*]*Corresponding author: Email: pqnhan@hunre.edu.vn*

Abstract

Saltwater intrusion (SWI) is one of the major challenges in managing coastal groundwater resources amid rapid economic development, climate change, and sea level rise. With a coastline exceeding 3,200 km and two major deltas-the Red River Delta (RRD) and the Mekong River Delta (MRD)- Vietnam is increasingly affected by SWI. This paper provides a comprehensive review of

both domestic and international studies focusing on: (i) the physical and geochemical mechanisms of SWI; (ii) research methodologies; (iii) the current status of SWI in Vietnam's coastal regions; (iv) predictive modeling approaches; (v) sustainable management and exploitation solutions; and (vi) challenges in research and governance. The synthesis reveals that SWI in Vietnam has shown a significant increasing trend, requiring an integrated management approach supported by appropriate technical measures and policy frameworks to ensure long-term coastal water security. However, the lack of long-term monitoring data, limited research infrastructure, and complex geological-climatic conditions contribute to considerable uncertainties in prediction. Sustainable management measures-such as regulated groundwater abstraction, engineering interventions, managed aquifer recharge (MAR), and integrated water resources management (IWRM)-have been investigated and piloted but remain insufficiently implemented in practice.

Keywords: Coastal aquifers; Seawater intrusion; Variable-density modeling; Managed aquifer recharge; Integrated water resources management; Vietnam.

ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP TRƯỜNG CHUYỂN XÁC ĐỊNH RANH GIỚI MẶN NHẠT CÁC TẦNG CHỨA NƯỚC TRẦM TÍCH TẠI ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG

Trần Vũ Long[1,*], Phạm Quý Nhân[2], Vũ Thu Hiền[1], Đào Đức Bằng[1],

[1]Trường Đại học Mỏ - Địa chất

[2]Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

**Tác giả liên hệ: Email: tranvulong@humg.edu.vn*

Tóm tắt

Đồng bằng sông Cửu Long là khu vực phát triển năng động của Việt Nam, với nhu cầu sử dụng nước sạch ngày càng gia tăng. Nguồn nước dưới đất trong các tầng chứa nước trầm tích bở rời tuổi Đệ tứ và Neogen đóng vai trò quan trọng, song sự phân bố mặn - nhạt phức tạp đã ảnh hưởng đáng kể đến khả năng khai thác hiệu quả, bền vững cũng như độ chính xác của các phương pháp thăm dò địa vật lý bề mặt trong việc xác định ranh giới mặn - nhạt. Nghiên cứu này ứng dụng phương pháp điện từ trường biến thiên theo thời gian (TDEM - Time Domain Transient Electromagnetic) để xác định ranh giới mặn - nhạt theo chiều sâu và mặt cắt tại hai khu vực Trà Vinh và Long An. Sơ đồ đo Turam với khung phát dòng 100 × 100 m được sử dụng, kết hợp máy thu Geonics ProTEM (30 cổng đo tại tần số 25 Hz) và máy phát TEM47HP (công suất tối đa 300 W), cho phép khảo sát đến độ sâu 250-400 m. Kết quả xử lý số liệu cho thấy tại thị trấn Châu Thành (Trà Vinh), tồn tại hai ranh giới mặn - nhạt ở độ sâu 40-50 m và 200-250 m dưới mặt đất. Tại khu vực Vĩnh Thuận (huyện Vĩnh Hưng, Long An), hai ranh giới mặn - nhạt được xác định ở độ sâu 40-60 m và 180-220 m.

Từ khóa: Mặn nhạt, Đồng bằng sông Cửu Long, Trường chuyển.

1. Đặt vấn đề

Đồng bằng Sông Cửu Long là đầu tàu phát triển kinh tế - xã hội của đất nước. Nhu cầu sử dụng nước gia tăng liên tục gây áp lực lớn đến tìm kiếm và cung cấp nước. Do đặc điểm địa lý tự nhiên, nước dưới đất là một trong những nguồn cấp nước quan trọng được sử dụng rộng rãi cho các mục đích sinh hoạt đô thị, nông nghiệp, nuôi trồng thuỷ sản, công nghiệp và các hoạt động khai thác khoáng sản khác nhau. Do đặc điểm Địa chất - Địa chất thuỷ văn đặc thù kết hợp với các tác động của nước biển dâng, suy giảm dòng chảy mặt, mùa khô kéo dài và khai thác quá mức làm quá trình xâm nhập mặn các tầng chứa nước nhạt trở nên phức tạp và nghiêm trọng.

Trong quá trình nghiên cứu xâm nhập mặn các tầng chứa nước nói chung và các tầng chứa nước ở Đồng bằng sông Cửu Long nói riêng, việc xác định ranh giới mặn nhạt là tối cần thiết nhằm định hướng cho các hoạt động tiếp theo. Bên cạnh các phương pháp khoan và phân tích mẫu truyền thống, các kỹ thuật địa vật lý đã và đang chứng minh tính hiệu quả trong nhận diện sự phân bố mặn - nhạt cả theo không gian lẫn chiều sâu. Các phương pháp Địa vật lý phổ biến được áp dụng cho khu vực này có thể kể đến phương pháp điện trở suất, phương pháp trường chuyển, phương pháp từ Tellua kết hợp đo sâu điện.

Nghiên cứu của Nguyen et al. (2023) đã sử dụng phương pháp ảnh điện (ERT) đo đạc xác định điện trở suất của đất tại khu vực ven biển Trà Vinh. Trong nghiên cứu này, máy đo ARES II được sử dụng nghiên cứu tới độ sâu 40m. Điện trở suất của các loại đất được hiệu chỉnh qua mẫu lõi khoan. Kết quả cho thấy điện trở suất <3 Ωm được xác định là đất nhiễm mặn và có liên hệ trực tiếp giữa độ sâu của mực nước ngầm nhiễm mặn với khoảng cách tới đường bờ biển. Nghiên cứu này cũng cho rằng phương pháp ERT có thể sử dụng được trong trường hợp xác định ranh giới mặn nhạt.

Nghiên cứu của nhóm các nhà khoa học của Đại học Utrecht Hà Lan và Đại học Aahus Đan Mạch (Bording et al., 2017) thực hiện đo đạc trường chuyển (TEM) ở khu vực ven biển Sóc Trăng. Hệ thống WalkTEM đã được sử dụng với sơ đồ đo trung tâm, khung phát vuông 40x40m, khung thu vuông 10x10m. Hai mức độ đo đạc LM và HM đã được sử dụng với dòng phát 2A và 20A. Số liệu

được giải đoán thông qua phần mềm SPIA. Có tổng số 386 điểm đo được triển khai trong phạm vi 200km^2. Kết quả cho thấy lớp đầu tiên từ mặt đất xuống 20m là khu vực mặn với điện trở xuất <3 Ωm và bên dưới là lớp khu vực nhạt có điện trở xuất cao hơn lên đến 80-100 Ωm. Lớp điện trở xuất cao bên dưới phát triển tới ~200m dưới bề mặt đất. Nghiên cứu này cho thấy tiềm năng sử dụng phương pháp TEM nhằm xác định ranh giới mặn - nhạt bên dưới lớp nước mặn nằm sát mặt đất.

Nghiên cứu khác của Pham et al. (2002) đã sử dụng kết hợp phương pháp đo sâu điện (VES) và từ Tellua (MTS) cho phép nghiên cứu tới độ sâu >800m dưới mặt đất. Nghiên cứu này được thực hiện ở khu vực xung quanh TP. Hồ Chí Minh và vùng ven biển ĐBSCL. Kết quả cho thấy có sự tồn tại của các khối trầm tích có điện trở xuất thấp (<10 Ωm) tương ứng với nước mặn trong trầm tích Đệ Tứ, trong khi các tầng sâu hơn có điện trở cao hơn, phản ánh nước nhạt.

Trong các nghiên cứu nêu trên, các phương pháp ứng dụng đều có ưu điểm và nhược điểm. Đối với các phương pháp điện trực tiếp có ưu điểm tương đối phổ biến, có khả năng triển khai diện rộng nhưng hạn chế lớn trong việc phân biệt giữa ảnh hưởng của mặn và các yếu tố khác. Đặc biệt trong trường hợp lớp nước mặn nằm sát trên mặt đất. Phương pháp từ Tellua có ưu điểm có khả năng nghiên cứu tới độ sâu lớn nhưng nhược điểm lớn là độ phân giải không cao, cùng với chi phí thực hiện khá lớn.

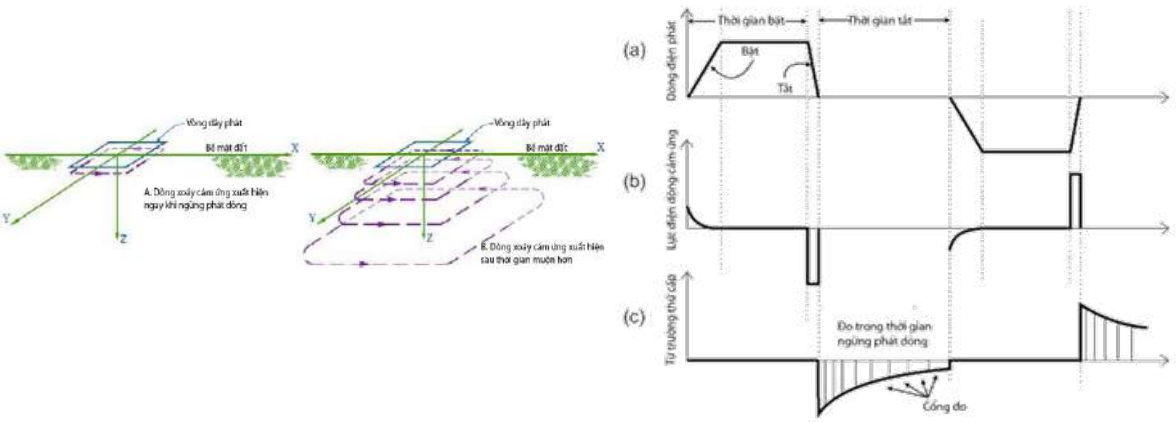
Phương pháp trường chuyển (TEM) có ưu thế khá rõ ràng so với các phương pháp điện trực tiếp khi đo đạc trong vùng mặn. Phương pháp này sử dụng xung điện từ trường phát vào đất đá vì vậy điện trở suất thấp của nước mặn không phải là trở ngại. Bên cạnh đó chiều sâu thăm dò tương đối lớn, phụ thuộc vào kích thước vòng dây phát và dòng điện phát. Độ nhạy khá cao với sự thay đổi của độ dẫn điện. Tuy nhiên thiết bị yêu cầu hiện đại, giải đoán tài liệu phức tạp cũng như độ phân giải ngang phụ thuộc nhiều vào khoảng cách các điểm đo.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng phương pháp TEM để thực hiện 252 điểm đo chia thành 12 tuyến đo đạc tại 2 khu vực Châu Thành - Trà Vinh và khu vực Cà Na - TT Vĩnh Hưng - Long An. Kết quả nghiên cứu góp phần làm sáng tỏ ranh giới mặn - nhạt trên mặt cắt tại khu vực nghiên cứu. Từ đó định hướng cho các nghiên cứu tiếp theo về cơ chế và bảo vệ nước dưới đất nhạt.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

2.1 Cơ sở lý thuyết

Cơ sở quan trọng của phương pháp TEM là dựa vào ứng dụng của định luật Maxwell. Phương pháp này sử dụng xung từ trường biến thiên (xung chính) phát vào môi trường đất đá và gây ra dòng điện biến thiên chạy trong đất đá. Đến lượt dòng điện biến thiên trong đất đá này tuỳ thuộc vào độ dẫn điện của môi trường mà tiêu biến nhanh hay chậm và tạo ra trường điện từ biến thiên (xung thứ cấp) trong môi trường. Sau đó xung thứ cấp suy giảm này được đo đạc theo thời gian để từ đó giải đoán và tìm hiểu hình ảnh điện trở suất của các lớp đất đá.



Hình 1. Cơ sở của phương pháp TEM, Đường đặc tính và nguyên tắc của phương pháp trường chuyển. (a) Dòng điện chạy trong vòng dây phát, (b) Lực điện động cảm ứng sinh ra trong các lớp đất đá và (c) trường thứ cấp được đo đạc trong vòng dây thu

Xử lý và giải đoán số liệu TEM dựa trên việc giải phương trình Cole-Cole (Cole & Cole, 1941; Holm, 2020) trong miền thời gian như sau:

$$\rho'(\omega) = \rho_0 \times \left(1 - \frac{\eta}{100}\left(1 - \frac{1}{1 + (i\omega\tau)^c}\right)\right)$$

Trong đó ω là tần số góc, ρ_0 là điện trở suất, η là độ phân cực (từ 0 tới 1), c là số mũ và τ là thời gian dãn nở.

2.2 Kỹ thuật đo đạc tại hiện trường

Tại hiện trường, bộ thiết bị máy thu Geonics ProTEM và máy phát TEM47HP đã được sử dụng. Sơ đồ đo Turam với khung dây phát có kích thước 100x100m bố trí theo hình vuông đặt cố định. Khung dây thu và máy thu dịch chuyển theo tuyến đo đã được bố trí từ trước theo toạ độ GPS. Khoảng cách tối đa giữa cạnh gần nhất của khung phát và tuyến đo được lựa chọn là 50m nhằm giảm thiểu hiệu ứng 3D. Khung thu kích thước 1x1m được sử dụng là khung cao tần với băng thông 800kHz, diện tích hiệu dụng 31.4m^2. Máy thu và máy phát được đồng bộ bằng dây dẫn.

Hình 2. Bố trí tuyến đo, điểm đo và khung dây phát (khung màu đỏ) tại Long An và Trà Vinh

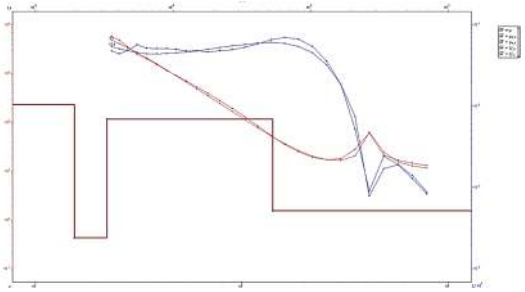
Dòng phát lớn nhất trong khung dây phát là 9.5A và đạt mức phát tối đa 95,000Am^2. Tần số phát được lựa chọn là 25Hz.

Để tăng cường mức độ tin cậy của số liệu đo đạc thì thời gian tích luỹ tín hiệu trung bình là 60s. Mỗi điểm đo được đo lặp từ 3 đến 5 lần tuỳ thuộc vào nền nhiễu và chất lượng tín hiệu. Càng xa khung phát thì thời gian tích luỹ càng dài, số lượng lặp tăng lên và mức độ khuếch đại tín hiệu cũng tăng lên.

Số cổng đo được lựa chọn là 30 cổng kéo dài từ 6μS đến 100mS cho phép thu được tín hiệu của giai đoạn sớm và giai đoạn muộn. Điều này cho phép giải đoán tài liệu trên khoảng độ sâu lớn hơn.

3. Kết quả và thảo luận

Số liệu đo đạc tại thực địa được nhập vào phần mềm ZondTEM để xử lý. Các lần đo lặp tại các điểm sẽ được trung bình hoá để xử lý. Mỗi 1 điểm sẽ được xử lý riêng biệt theo phương pháp so trùng với đường cong lý thuyết. Kết quả sẽ được đưa ra với 2 phần là đồ thị và bảng kết quả điện trở của lớp xử lý và bề dày lớp.

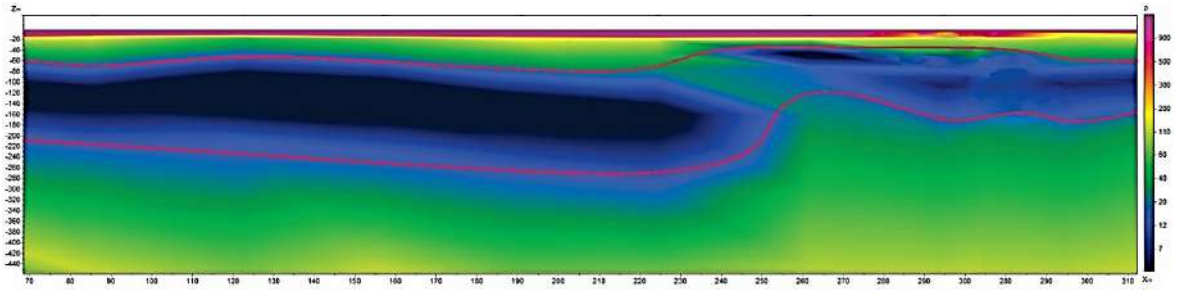


Model table | Limits

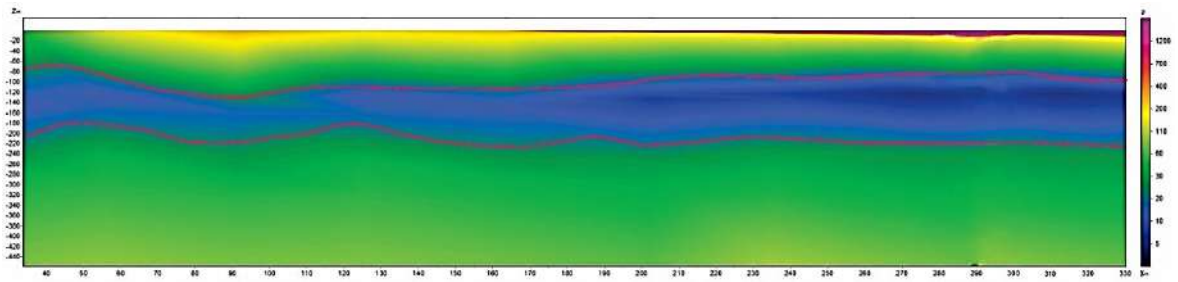
N	ρ	η	τ	c	μ	h	z
1	233.32	0	0.50	0.50	1	15.46	0/0
2	0.43	0	0.50	0.50	1	6.76	15.46
3	117.17	0	0.50	0.50	1	118.58	22.22
4	1.55	0	0.50	0.50	1		140.80

Hình 3. Kết quả xử lý 1 điểm đo đạc với mô hình 4 lớp

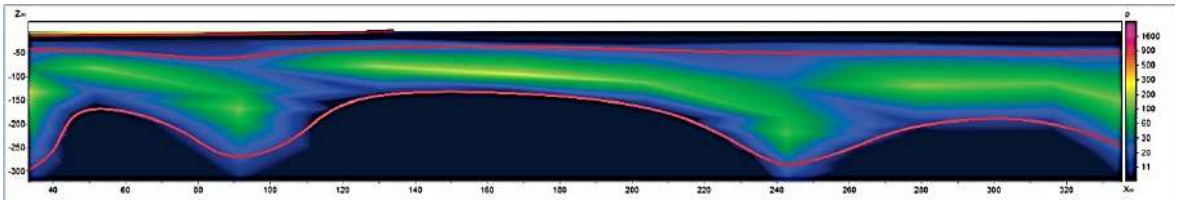
Kết quả xử lý các điểm đo độc lập được nội suy theo điện trở suất và đưa lên mặt cắt. Kết quả trên mặt cắt như sau:



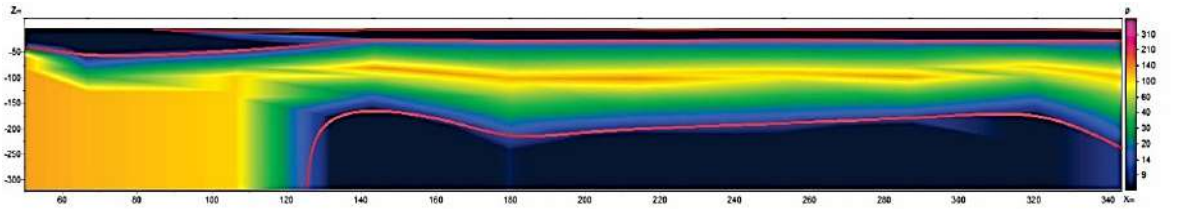
Hình 4. Kết quả xử lý tuyến số 1 tại Long An (đường màu đỏ là ranh giới mặn - nhạt)



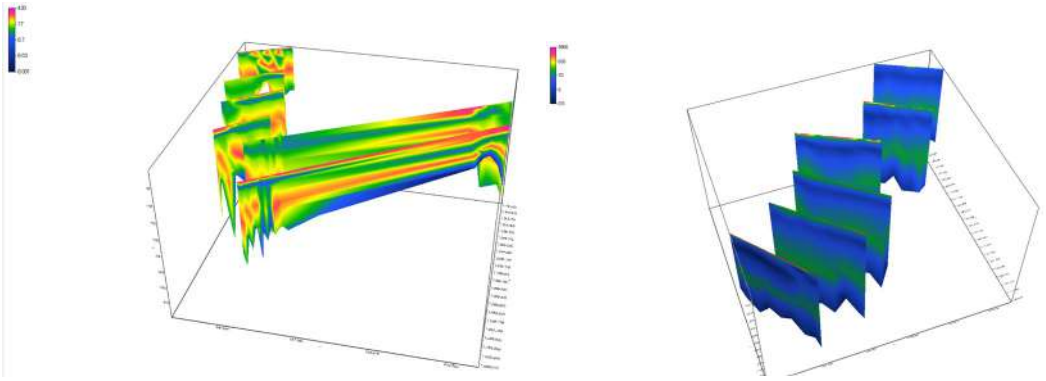
Hình 5. Kết quả xử lý tuyến số 2 tại Long An (đường màu đỏ là ranh giới mặn - nhạt)



Hình 6. Kết quả xử lý tuyến số 3 tại Trà Vinh (đường màu đỏ là ranh giới mặn - nhạt)



Hình 7. Kết quả xử lý tuyến số 4 tại Trà Vinh (đường màu đỏ là ranh giới mặn - nhạt)



Hình 8. Kết quả xử lý các tuyến tại Trà Vinh và Long An

Kết quả giải đoạn cho thấy ở khu vực Châu Thành, Trà Vinh có lớp nước nhạt có chiều sâu phân bố tương đối nông và trên dưới đều là nước mặn có điện trở suất thấp. Lớp này phân bố ở độ sâu từ 50 -150m dưới mặt đất và có điện trở suất từ 80 - 150Ωm. Bên dưới lớp này tới ngoài 300m là điện trở suất thấp.

Kết quả giải đoán tại Vĩnh Hưng, Long An cũng cho thấy phần trên mặt đất tới khoảng 60-80m là lớp nước nhạt, có ranh giới tương đối rõ ràng với điện trở suất từ 80 - 150Ωm. Ở giữa từ khoảng 60 - 260m là lớp nước mặn có điện trở xuất 1-3Ωm. Bên dưới sâu từ 260 - 280m trở xuống có nước nhạt với điện trở xuất từ 80 - 150Ωm.

4. Kết luận

Kết quả giải đoán tại 2 khu vực Long An và Trà Vinh cho thấy có sự khác biệt tương đối rõ ràng về phân bố mặn nhạt theo chiều sâu. Tại Châu Thành, Trà Vinh, lớp nước nhạt phân bố giữa lớp nước mặn nằm rất nông và lớp nước mặn nằm sâu. Chiều sâu phân bố lớp nước nhạt từ khoảng 50m đến 150m. Dịch về phía Bắc thì lớp nước nhạt này mở rộng xuống sâu hơn, trên mặt cắt không phân tách quá rõ ràng. Tại Vĩnh Hưng thì lớp nước mặn nằm giữa, nước nhạt nằm trên và dưới phân tách tương đối rõ ràng. Chiều sâu phân bố lớp nước nhạt khá lớn, tới 260 - 280m dưới mặt đất và phát triển sâu hơn nữa.

Phương pháp TEM cho thấy khả năng tốt trong việc đo đạc và xác định phân bố mặn - nhạt theo phương chiều sâu. Các lớp mặn - nhạt được xác định khá phù hợp với kết quả của các nghiên cứu trước đây.

Tuy nhiên độ phân giải chưa thực sự tốt, cần thêm các đo đạc với tần số cao hơn. Để tăng thêm độ sâu nghiên cứu cần gia tăng công suất của bộ máy đo cũng như giảm tần số phát. Phương pháp này phù hợp hơn cho các khu vực rộng, xa các khu dân cư và hệ thống truyền tải điện.

Lời cảm ơn

Báo cáo được hoàn thành dưới sự hỗ trợ của Đề tài khoa học mã số: ĐTĐL.CN-65/21 với tên: "Nghiên cứu giải pháp khôi phục các công trình khai thác nước dưới đất bị nhiễm mặn phục vụ cấp nước sinh hoạt cho vùng khan hiếm nước ở Đồng bằng Nam Bộ".

Tài liệu tham khảo

Bording, T., Christiansen, A. V., Auken, E., Gunnink, J., & Oude Essink, G. H. (2017). Groundbased TEM survey in the subsiding mekong delta. 23rd European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics,

Cole, K. S., & Cole, R. H. (1941). Dispersion and absorption in dielectrics I. Alternating current characteristics. *The Journal of chemical physics*, *9*(4), 341-351.

Holm, S. (2020). Time domain characterization of the Cole-Cole dielectric model. *Journal of electrical bioimpedance*, *11*(1), 101.

Nguyen, V. H., Germer, J., Duong, V. N., & Asch, F. (2023). Soil resistivity measurements to evaluate subsoil salinity in rice production systems in the Vietnam Mekong Delta. *Near Surface Geophysics*, *21*(4), 288-299.

Pham, V. N., Boyer, D., Le Mouël, J.-L., & Nguyen, T. K. T. (2002). Hydrogeological investigation in the Mekong Delta around Ho-Chi-Minh City (South Vietnam) by electric tomography. *Comptes rendus. Géoscience*, *334*(10), 733-740.

Application of time domain transient electromagnetic method to determine salinity boundaries of sedimentary aquifers in the Mekong Delta

Tran Vu Long[1,*], Pham Quy Nhan[2], Vu Thu Hien[1], Dao Duc Bang[1]
[1] *Hanoi University of Mining and Geolgy*
[2] *Hanoi University of Natural Resources and Environment*
**Corresponding author: Email: tranvulong@humg.edu.vn*

Abstract

The Mekong Delta is one of the most dynamic regions in Vietnam, where the demand for clean water has been continuously increasing. Groundwater stored in Quaternary and Neogene unconsolidated sedimentary aquifers serves as a vital resource; however, the complex distribution of saline and fresh water significantly constrains both sustainable exploitation and the accuracy of conventional surface geophysical methods for delineating saline-freshwater boundaries. This study applies the Time-Domain Transient Electromagnetic (TDEM) method to delineate saline-freshwater boundaries in both vertical and lateral directions in Tra Vinh and Long An provinces. A Turam survey configuration with a 100 × 100 m transmitter loop was employed, using a Geonics ProTEM receiver (30 channels at 25 Hz) combined with a TEM47HP transmitter (300 W), enabling exploration depths of 250-400 m. The results reveal two saline-freshwater boundaries in Chau Thanh town (Tra Vinh), located at depths of 40-50 m and 200-250 m below ground level. Similarly, in Vinh Thuan (Vinh Hung district, Long An), two boundaries were detected at depths of 40-60 m and 180-220 m.

***Keywords**:* Salt-fresh boundary, Mekong delta, TDEM.

ĐÁNH GIÁ CÁC NGUỒN THẢI VÀ KHẢ NĂNG TIẾP NHẬN NƯỚC THẢI CỦA HỒ CẤM SƠN

Nguyễn Mai Hoa[1,*]
[1]Trường Đại học Mỏ - Địa chất
**Tác giả liên hệ: Email: nguyenmaihoa@humg.edu.vn*

Tóm tắt

Hồ Cấm Sơn có vai trò quan trọng trong cấp nước cho nhiều mục đích sử dụng vì vậy việc xác định các nguồn thải, lượng nước thải phát sinh và hiện trạng quản lý các nguồn thải trong lưu vực hồ Cấm Sơn, đồng thời tính toán khả năng tiếp nhận chất ô nhiễm của hồ Cấm Sơn là cần thiết để có thể khai thác và sử dụng bền vững tài nguyên nước hồ. Nghiên cứu được thực hiện dựa trên các phương pháp để thu thập, tổng hợp và phân tích số liệu; phương pháp hệ số để tính toán lượng nước thải phát sinh và phương pháp tính sức chịu tải của nguồn nước. Kết quả tính toán cho thấy hàng năm hồ Cấm Sơn phải tiếp nhận hơn 1,3 triệu m^3 nước thải sinh hoạt; gần 3 triệu m^3 nước thải nông nghiệp; 0,32 triệu m^3 nước thải và 45 nghìn tấn chất thải rắn (phân thải) từ hoạt động chăn nuôi. Tuy nhiên mới chỉ có khoảng 20,56% lượng nước thải sinh hoạt và 3,05% lượng nước thải chăn nuôi được xử lý trước khi thải vào hồ. Dựa trên kết quả tính toán, hồ Cấm Sơn hiện đã không còn khả năng tiếp nhận đối với các thông số như TSS, BOD, COD, tổng nitơ và NH_4^+. Để bảo vệ và cải thiện chất lượng nước hồ Cấm Sơn, trong thời gian tới cần kiểm soát chặt chẽ các nguồn thải sao cho các nguồn thải phát sinh nằm trong khả năng tiếp nhận đã tính toán của hồ, đồng thời tăng cường hoạt động quan trắc, giám sát chất lượng nước hồ.

Từ khóa: Hồ Cấm Sơn; nguồn thải; nước thải; sức chịu tải.

1. Đặt vấn đề

Hồ Cấm Sơn là nguồn cung cấp nước tưới cho 19.857 ha đất canh tác nông nghiệp của tỉnh Bắc Giang (cũ) *[Công ty TNHH một thành viên khai thác công trình thủy lợi Bắc Sông Thương, 2022]*. Bên cạnh đó, hàng năm 22,1 triệu m^3 nước hồ còn được khai thác để làm nước cấp cho sinh hoạt và sản xuất công nghiệp của tỉnh *[Công ty cổ phần Đầu tư Hạ tầng nước sạch DNP - Bắc Giang, 2017]*. Hồ Cấm Sơn cũng cung cấp nước cho thủy điện Cấm Sơn (công suất 4,5 MW cấp điện cho khu vực Đồng Mỏ, tỉnh Lạng Sơn cũ) *[Bộ Nông nghiệp & Phát triển Nông thôn, 2007]*. Hiện nay, chất lượng nguồn nước hồ Cấm Sơn đang bị ảnh hưởng do việc khai thác, sử dụng và tác động của các nguồn thải trong vùng và khu vực phụ cận liên quan. Theo kết quả nghiên cứu của tác giả, nước hồ Cấm Sơn đã có dấu hiệu bị ô nhiễm bởi một số thông số, đặc biệt là các thông số hữu cơ như TSS, BOD, COD, tổng nitơ và NH_4^+ *[Nguyễn Mai Hoa, 2024]*.

Năm 2023, quy chuẩn quốc gia mới về chất lượng nước mặt (QCVN 08:2023/BTNMT) được ban hành "quy định giá trị giới hạn các thông số chất lượng môi trường nước mặt làm cơ sở để quản lý, đánh giá, phân loại chất lượng môi trường nước mặt, làm căn cứ cho việc bảo vệ, sử dụng nguồn nước và thực hiện các quy định của pháp luật về môi trường có liên quan", trong đó có tính sức chịu tải của nguồn nước mặt *[Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2023]*. Tuy nhiên, hiện vẫn chưa có nghiên cứu nào áp dụng để đánh giá các nguồn thải và khả năng tiếp nhận nước thải của hồ Cấm Sơn. Xuất phát từ thực tiễn trên, nghiên cứu đánh giá hiện trạng các nguồn thải và khả năng tiếp nhận nước thải của hồ Cấm Sơn là một vấn đề cấp thiết để làm cơ sở cho công tác quản lý, khai thác và sử dụng bền vững nguồn tài nguyên nước của hồ Cấm Sơn.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

2.1 Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Các nguồn thải chính vào hồ Cấm Sơn là nước thải sinh hoạt, trồng trọt và chăn nuôi từ các khu dân cư xung quanh hồ. Cụ thể như trình bày trong bảng 1 dưới đây:

Bảng 1. *Các nguồn chính xả thải nước thải vào hồ Cấm Sơn*

TT	Loại nguồn thải	Phạm vi (theo đơn vị hành chính cũ trước khi sát nhập năm 2025)
1	Sinh hoạt	Dân số của 4 xã Cấm Sơn, Tân Sơn, Hộ Đáp, Sơn Hải của tỉnh Bắc Giang và 15 hộ ven hồ của xã Hòa Lạc, tỉnh Lạng Sơn
2	Nông nghiệp	Diện tích canh tác nông nghiệp của 4 xã Cấm Sơn, Tân Sơn, Hộ Đáp, Sơn Hải của tỉnh Bắc Giang và diện tích rừng sản xuất (chủ yếu trồng Vải và Bạch Đàn, Keo) của xã Hòa Lạc, huyện Hữu Lũng, tỉnh Lạng Sơn.
3	Chăn nuôi	Số lượng vật nuôi chính của 4 xã Cấm Sơn, Tân Sơn, Hộ Đáp, Sơn Hải của tỉnh Bắc Giang
4	Các nguồn thải khác	Trong khu vực hồ Cấm Sơn

2.2 Phương pháp nghiên cứu

2.2.1 Thu thập, tổng hợp, phân tích, đánh giá số liệu, tài liệu và tham vấn cộng đồng

Tác giả đã tiến hành thu thập các số liệu liên quan đến việc phát sinh nước thải như dân số, số lượng gia súc/gia cầm chăn nuôi, diện tích canh tác nông - lâm nghiệp tại khu vực nghiên cứu từ UBND huyện Lục Ngạn (cũ) và UBND xã Hòa Lạc, huyện Hữu Lũng, tỉnh Lạng Sơn; thu thập các hệ số thải từ các báo cáo của các cơ quan chức năng như Chính phủ, Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn, Bộ Tài nguyên Môi trường. Kết quả thu thập được phân tích, xử lý làm cơ sở để tính toán lượng nước thải phát sinh tại lưu vực hồ Cấm Sơn.

Tiến hành tham vấn bằng phiếu tại 120 hộ gia đình sinh sống ven hồ nhằm:

+ Xác định lượng nước sử dụng bình quân cho sinh hoạt, từ đó làm cơ sở xây dựng định mức sử dụng nước bình quân (m^3/người/ngày).

+ Đánh giá hiện trạng các hoạt động quản lý và xử lý đối với các nguồn thải phát sinh trong khu vực hồ Cấm Sơn.

2.2.2 Phương pháp hệ số thải

Lượng nước thải phát sinh tại lưu vực hồ Cấm Sơn được tính toán theo phương pháp hệ số thải, cụ thể như sau:

Đối với nước thải sinh hoạt, tổng lượng nước thải phát sinh được xác định theo công thức:

$$V_{nt} = E_{nt} \times P \quad (1)$$

Trong đó:

V_{nt}: Lượng nước thải sinh hoạt phát sinh, m^3/ngày.

E_{nt}: Định mức phát sinh nước thải bình quân trên đầu người, m^3/người/ngày. Được tính bằng 80% lượng nước sử dụng (theo quy định tại Nghị định 80/2014/NĐ-CP về thoát nước).

P: Số dân của địa bàn nghiên cứu, người. Theo báo cáo kinh tế - xã hội năm 2024 của huyện Lục Ngạn (tỉnh Bắc Giang cũ) thì tổng số dân trên địa bàn nghiên cứu là 22.510 người. *[UBND huyện Lục Ngạn, 2024].*

Đối với nước thải từ hoạt động sản xuất nông nghiệp: Lượng nước này chủ yếu là do lượng nước hồi quy từ hoạt động tưới tiêu cho diện tích đất canh tác, được tính toán theo công thức sau:

$$Q = HSQ \times S \ (m^3/ngày) \quad (2)$$

Trong đó:

Q: Lượng nước thải nông nghiệp phát sinh, m^3/ngày.

HSQ = Hệ số định mức lượng nước hồi quy từ hoạt động tưới tiêu, m^3/ha/ngày đêm. Định mức lượng nước hồi quy theo FAO là HSQ = 2,28 (m^3/ha/ngày đêm).

S = Diện tích đất canh tác của địa bàn nghiên cứu, ha. S = 3.599,64 ha. *[UBND huyện Lục Ngạn, 2024].*

Đối với chất thải từ hoạt động chăn nuôi:

$$M = a \times N \quad (3)$$

Trong đó:

M: Lượng chất thải chăn nuôi phát sinh (đối với nước thải tính bằng m^3/ngày, đối với chất thải rắn (phân thải) tính bằng tấn/ngày).

N: Số lượng vật nuôi của địa bàn nghiên cứu, con.

a: Hệ số phát sinh nước thải/chất thải rắn bình quân trên đầu vật nuôi (tính bằng m^3/con/ngày đối với nước thải và tấn/con/ngày đối với chất thải rắn (phân thải)). Theo Báo cáo công tác bảo vệ môi trường ngành Nông nghiệp năm 2023, hệ số phát thải trung bình của vật nuôi như sau:

Bảng 2. *Số lượng vật nuôi tại khu vực nghiên cứu và hệ số phát sinh nước thải, chất thải rắn bình quân trên đầu vật nuôi*

TT	Loại vật nuôi	Số lượng vật nuôi (con)*	Hệ số phát sinh nước thải (m^3/con/năm)**	Hệ số phát sinh chất thải rắn (kg/con/ngày)**
1	Trâu, bò	3.575	8	12,5
2	Ngựa, dê, cừu	4.224	6	2,25
3	Lợn	15.450	14,6	2,0
4	Gia cầm	196.340	3,2	0,2

*Nguồn: * UBND huyện Lục Ngạn, 2024, **Bộ Nông nghiệp & Phát triển Nông thôn, 2023*

2.2.3 Phương pháp tính sức chịu tải của nguồn nước

Theo Thông tư số 76/2017/TT-BTNMT của Bộ Tài nguyên và Môi trường về Đánh giá khả năng tiếp nhận nước thải, sức chịu tải của nguồn nước sông, hồ thì khả năng tiếp nhận chất ô nhiễm của hồ Cấm Sơn được tính toán theo công thức sau:

$$M_{tn} = (C_{qc} - C_{nn}) \times V_h \times 10^{-3} \times F_s \quad (4)$$

Trong đó:

M_{tn}: Khả năng tiếp nhận nước thải, sức chịu tải đối với từng thông số ô nhiễm của hồ, đơn vị tính là kg.

C_{qc}: Giá trị giới hạn của thông số chất lượng nước mặt theo quy chuẩn kỹ thuật về chất lượng nước mặt ứng với mục đích sử dụng của hồ, đơn vị tính là mg/l. Giá trị C_{qc} được lấy theo bảng 1 và 2 trong QCVN 08:2023/QTNMT. *[Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2023].*

C_{nn}: Kết quả phân tích thông số chất lượng nước hồ, đơn vị tính mg/l.

V_h: Dung tích của hồ trong mùa nước cạn, đơn vị tính m^3. $V_h = 248*10^6$ m^3 *[Bộ Nông nghiệp & Phát triển Nông thôn, 2007].*

F_s: Hệ số an toàn, dao động từ 0,3 - 0,7".

Nghiên cứu sử dụng 16 thông số (TSS, BOD_5, COD, tổng N, tổng P, NH_4^+, NO_2^-, Pb, Cd, Hg, As, Fe, Cu, Zn, Cl^- và tổng dầu mỡ) để tính toán khả năng tiếp nhận cho 2 mục đích sử dụng nước là cấp nước sinh hoạt (mức A) và tưới tiêu thủy lợi (mức B) của hồ Cấm Sơn.

3. Kết quả và thảo luận

3.1 Hiện trạng phát sinh và quản lý các nguồn thải trong lưu vực hồ Cấm Sơn

3.1.1 Hiện trạng phát sinh chất thải

Hồ Cấm Sơn chịu tác động trực tiếp của các nguồn thải phát sinh từ 4 xã ven hồ của huyện Lục Ngạn cũ (Cấm Sơn, Tân Sơn, Sơn Hải và Hộ Đáp) và một phần nhỏ diện tích của xã Hòa Lạc, huyện Hữu Lũng, tỉnh Lạng Sơn (cũ). Đặc điểm chung của khu vực này là kinh tế còn chưa phát triển mạnh, hoạt động kinh tế chủ yếu là nông, lâm nghiệp. Nhìn chung, các nguồn thải phát sinh trên hồ Cấm Sơn hiện chưa quá nghiêm trọng. Các nguồn thải chính ở khu vực này là nước thải sinh hoạt, trồng trọt và chăn nuôi từ các khu dân cư xung quanh hồ.

Dựa trên số liệu điều tra tại 120 hộ gia đình thuộc 4 xã Cấm Sơn, Tân Sơn, Hộ Đáp và Sơn Hải, ước tính được định mức sử dụng nước cho sinh hoạt tại khu vực nghiên cứu là 0,2 m^3/người/ngày.

Áp dụng các công thức (1), (2), (3) và dữ liệu từ báo cáo của UBND huyện Lục Ngạn (tỉnh Bắc Giang cũ) về dân số, diện tích đất canh tác, số lượng vật nuôi tại khu vực nghiên cứu, tổng lượng nước thải phát sinh vào lưu vực hồ Cấm Sơn là 12.699,77 m^3/ngày, trong đó chiếm tỷ trọng lớn nhất (64,62%) là nước thải nông nghiệp. Số liệu chi tiết được trình bày trong bảng 3 dưới đây:

Bảng 3. *Lượng chất thải phát sinh tại khu vực nghiên cứu*

TT	Loại chất thải	Đơn vị	Lượng phát sinh	Tỷ lệ (%)
1	Nước thải sinh hoạt	m^3/ngày	3.613,84	28,46
2	Nước thải nông nghiệp (canh tác)	m^3/ngày	8.207,18	64,62
3	Nước thải chăn nuôi	m^3/ngày	878,75	6,92
	Tổng lượng nước thải	**m^3/ngày**	**12.699,77**	**100,00**
4	Chất thải rắn sinh hoạt	Tấn/ngày	11,26	8,30
5	Chất thải rắn chăn nuôi (phân thải)	Tấn/ngày	124,36	91,70
	Tổng lượng chất thải rắn	**Tấn/ngày**	**135,62**	**100,00**

Bên cạnh các nguồn thải chính phát sinh từ hoạt động sinh hoạt, canh tác nông nghiệp, một số hoạt động khác trong khu vực hồ Cấm Sơn cũng tác động xấu đến chất lượng nước hồ, cụ thể:

Hoạt động thăm quan du lịch: Mặc dù số lượng khách du lịch chưa quá đông nhưng hàng năm vẫn có hàng trăm lượt khách du lịch tới thăm quan vãn cảnh hồ Cấm Sơn. Do ý thức bảo vệ môi trường kém nên lượng rác thải được khách du lịch thải bỏ trên mặt hồ và các khu vực lân cận rất phổ biến làm mất mỹ quan của hồ.

Hoạt động giao thông của các tàu thuyền để phục vụ nhu cầu đi lại của người dân và hoạt động trở khách du lịch đi thăm quan hồ cũng tiềm ẩn nguy cơ gây ô nhiễm dầu mỡ cho nước hồ.

Hoạt động nuôi trồng, đánh bắt thủy sản: Trên hồ Cấm Sơn hiện tại có hơn 20 hộ gia đình nuôi thả cá lồng với quy mô nhỏ. Trong đó khu vực tập trung nhiều nhất tại gần đập Cấm Sơn (xã Hòa Lạc, huyện Hữu Lũng, tỉnh Lạng Sơn) phía hạ nguồn với hơn 12 hộ nuôi cá lồng. Hoạt động này sẽ tác động trực tiếp đến chất lượng nước hồ do dư lượng các loại thức ăn thừa của cá.

3.1.2 Hiện trạng quản lý và xử lý các nguồn thải

Theo kết quả điều tra bằng phiếu đối với 120 hộ dân kết hợp khảo sát thì hiện trạng quản lý và xử lý các nguồn thải phát sinh trong khu vực hồ Cấm Sơn rất thấp: đối với nước thải sinh hoạt chỉ có 20,56% các hộ có biện pháp xử lý, các hộ có hình thức xử lý đối với nước thải chăn nuôi chỉ là 3,05%. Đối với chất thải rắn (CTR), tỷ lệ thu gom CTR sinh hoạt của các xã ven hồ tương đối cao, đạt 86,88%. Tuy nhiên, tỷ lệ này với các loại CTR chăn nuôi, trồng trọt và kinh doanh dịch vụ là rất thấp, lần lượt là 12,4%; 52,80% và 0%. Tỷ lệ thu gom, xử lý các loại chất thải thấp dẫn đến một lớn các nguồn nước thải, chất thải rắn phát sinh bị đổ thải trực tiếp ra ngoài môi trường, từ đó trực tiếp hoặc gián tiếp tác động xấu đến chất lượng nguồn nước hồ Cấm Sơn.

Mặc dù lượng chất thải phát sinh từ hoạt động chăn nuôi trên khu vực ven hồ Cấm Sơn chiếm tỷ lệ không lớn nhưng hiện nay nguồn thải này gần như chưa được kiểm soát chặt chẽ nên tiềm ẩn nguy cơ gây ô nhiễm nguồn nước do trong phân thải, nước thải của các loại vật nuôi thường chứa nhiều các hợp chất hữu cơ dễ phân hủy, TSS, các chất dinh dưỡng (Nitơ và Phốt pho) và các mầm bệnh như Ecoli và Colifrom.

3.2 Khả năng tiếp nhận chất ô nhiễm của hồ Cấm Sơn

Áp dụng công thức (4) xác định được khả năng tiếp nhận của hồ Cấm Sơn đối với 2 nhóm thông số là: (1) các thông số ảnh hưởng đến sức khoẻ con người và (2) các thông số phục vụ cho việc phân loại chất lượng nước sông và bảo vệ môi trường sống dưới nước. Kết quả cụ thể như sau:

3.2.1 Khả năng tiếp nhận đối với các thông số ảnh hưởng tới sức khoẻ con người

Trong 11 thông số ảnh hưởng đến sức khoẻ con người được đánh giá, chỉ có thông số NH_4^+ đang bị âm (nước hồ không còn khả năng tiếp nhận). Còn lại các thông số khác thì hồ vẫn còn khả năng tiếp nhận cao. Ví dụ: Đối với NO_2^- hồ còn có khả năng tiếp nhận từ gần 3,6 đến 8,33 tấn/năm; Clorua hồ còn có khả năng tiếp nhận từ 18,2 đến gần 42,4 nghìn tấn/năm; dầu mỡ từ gần 337 đến 786 tấn/năm. Tuy nhiên, để bảo đảm tính an toàn về mặt môi trường, các nhà quản lý nên lựa chọn phương án tiếp nhận với F_s = 0,3 (ngưỡng tiếp nhận dưới).

Bảng 4. *Khả năng tiếp nhận của hồ Cấm Sơn đối với các thông số ảnh hưởng tới sức khoẻ con người*

Thông số	C_{qc}* (mg/l)	C_{nn}** (mg/l)	V_h (m^3)	Hệ số F_s		M_{tn} (kg)	
				Min	Max	Min	Max
NH_4^+	0,3	0,31	248*10⁶	0,3	0,7	**-744,00**	**-1.736,00**
NO_2^-	0,05	0,002	248*10⁶	0,3	0,7	3.571,20	8.332,80
Pb	0,02	0,0172	248*10⁶	0,3	0,7	208,32	486,08
Cd	0,005	0,0016	248*10⁶	0,3	0,7	252,96	590,24
Hg	0,001	0,0006	248*10⁶	0,3	0,7	29,76	69,44
As	0,01	0,0023	248*10⁶	0,3	0,7	572,88	1.336,72
Fe	0,5	0,0406	248*10⁶	0,3	0,7	34.179,36	79.751,84
Cu	0,1	0,0214	248*10⁶	0,3	0,7	5.847,84	13.644,96
Zn	0,5	0,1667	248*10⁶	0,3	0,7	24.797,52	57.860,88
Clorua	250	5,42	248*10⁶	0,3	0,7	18.196.752,00	42.459.088,00
Tổng dầu mỡ	5,0	0,47	248*10⁶	0,3	0,7	337.032,00	786.408,00

*Nguồn: * Bộ TN&MT 2023. ** Nguyễn Mai Hoa, 2024*

3.2.2 Khả năng tiếp nhận đối với các thông số phân loại chất lượng nước

Kết quả tính toán cho thấy: Trong 5 thông số phục vụ phân loại chất lượng nước được đánh giá thì nước hồ Cấm Sơn đã không còn khả năng tiếp nhận đối với 3 thông số TSS, BOD và COD cho cả 2 mục tiêu sử dụng nước là cấp nước sinh hoạt và tưới tiêu thủy lợi. Thông số tổng Nitơ hồ Cấm Sơn cũng không còn khả năng tiếp nhận nếu sử dụng nguồn nước hồ để cấp nước sinh hoạt. Chỉ có thông số tổng Photpho là nước hồ còn khả năng tiếp nhận. Kết quả chi tiết được trình bày ở bảng 5:

Bảng 5. *Khả năng tiếp nhận của hồ Cấm Sơn đối với các thông số phân loại chất lượng nước*

Thông số	C_{qc}* (mg/l)	C_{nn}** (mg/l)	V_h (m^3)	Hệ số F_s		M_{tn} (kg)	
				Min	Max	Min	Max
A.	**Mục đích cấp nước sinh hoạt**						
TSS	5	34,36	248*10⁶	0,3	0,7	**-2.184.384**	**-5.096.896**
BOD_5	4	10,16	248*10⁶	0,3	0,7	**-458.304**	**-1.069.376**
COD	10	27,02	248*10⁶	0,3	0,7	**-1.266.288**	**-2.954.672**
Tổng N	0,6	0,625	248*10⁶	0,3	0,7	**-1.860**	**-4.340**
Tổng P	0,1	0,04	248*10⁶	0,3	0,7	4.464	10.416
B.	**Mục đích sử dụng nước để tưới tiêu nông nghiệp**						
TSS	15	34,36	248*10⁶	0,3	0,7	**-1.440.384**	**-3.360.896**
BOD_5	6	10,16	248*10⁶	0,3	0,7	**-309.504**	**-722.176**
COD	15	27,02	248*10⁶	0,3	0,7	**-894.288**	**-2.086.672**
Tổng N	1,5	0,625	248*10⁶	0,3	0,7	65.100	151.900
Tổng P	0,3	0,04	248*10⁶	0,3	0,7	19.344	45.136

*Nguồn: * Bộ TN&MT 2023. ** Nguyễn Mai Hoa, 2024*

Thông qua việc đánh giá khả năng tiếp nhận các chất ô nhiễm của hồ Cấm Sơn cho thấy cần phải có các quy hoạch mang tính chất định hướng trong việc sử dụng nguồn nước của hồ. Nếu sử dụng nguồn nước để cung cấp nước sinh hoạt cho người dân và tưới tiêu phục vụ sản xuất nông nghiệp thì cần phải hạn chế các hoạt động phát triển kinh tế, xã hội xung quanh khu vực hồ, đồng thời kiểm soát chặt chẽ các nguồn thải nhằm giảm bớt các chất ô nhiễm hữu cơ đổ vào trong nước hồ do hiện tại khả năng tiếp nhận của hồ với các thông số này đang bị âm.

4. Kết luận

Ước tính bình quân mỗi ngày hồ Cấm Sơn chịu ảnh hưởng của 3,6 nghìn m^3 nước thải sinh hoạt; 8,2 nghìn m^3 nước thải từ hoạt động canh tác nông nghiệp; 124,4 tấn chất thải rắn (phân thải) và gần 880 m^3 nước thải từ hoạt động chăn nuôi của các xã ven hồ. Ngoài ra, còn có chất thải phát sinh từ khách du lịch tới tham quan, vãn cảnh hồ Cấm Sơn; các tàu thuyền đi lại và hoạt động nuôi trồng, đánh bắt thủy sản trên mặt hồ. Nhìn chung, các nguồn thải phát sinh trên hồ Cấm Sơn hiện chưa quá nghiêm trọng.

Kết quả tính toán khả năng tiếp nhận chất ô nhiễm của nước hồ Cấm Sơn cho thấy: nếu sử dụng nguồn nước hồ Cấm Sơn để cấp nước sinh hoạt và tưới tiêu nông nghiệp thì cần phải giảm bớt các chất ô nhiễm hữu cơ trong nước hồ do hiện tại khả năng tiếp nhận của hồ với các thông số như TSS, BOD, COD và NH_4^+ đang bị âm. Bên cạnh đó, đối với mục đích cấp nước cho sinh hoạt cần kiểm soát hàm lượng tổng N vì kết quả tính toán cho thấy hồ Cấm Sơn không còn khả năng tiếp nhận với thông số này.

Để góp phần bảo vệ và cải thiện chất lượng nước hồ Cấm Sơn, trong thời gian tới cần hạn chế các hoạt động phát triển kinh tế - xã hội xung quanh khu vực hồ, kiểm soát chặt chẽ các nguồn thải tác động đến chất lượng nước hồ sao cho các nguồn thải phát sinh nằm trong khả năng tiếp nhận đã tính toán của hồ. Đồng thời tăng cường hoạt động quan trắc, giám sát chất lượng nước hồ và các nguồn nước đổ thải vào hồ Cấm Sơn.

Tài liệu tham khảo

Bộ Nông nghiệp & Phát triển Nông thôn, 2007. Quyết định số 74/2007/QĐ-BNN ngày 17 tháng 8 năm 2007 của Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn ban hành Quy trình vận hành điều tiết nước Hồ chứa nước Cấm Sơn, phụ lục 1.

Bộ NN&PTNT, 2023. Báo cáo công tác BVMT ngành Nông nghiệp năm 2023.

Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2017. Thông tư số 76/2017/TT-BTNMT ngày 29 tháng 12 năm 2017 của Bộ Tài nguyên và Môi trường ban hành Quy định về Đánh giá khả năng tiếp nhận nước thải, sức chịu tải của nguồn nước sông, hồ.

Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2023. Thông tư 01/2023/TT-BTNMT ngày 13 tháng 3 năm 2023 của Bộ Tài nguyên và Môi trường ban hành Quy chuẩn quốc gia về môi trường xung quanh.

Chính phủ, 2014. Nghị định 80/2014/NĐ-CP của Chính phủ ban hành ngày 06 tháng 8 năm 2014 về thoát nước và xử lý nước thải.

Công ty cổ phần Đầu tư Hạ tầng nước sạch DNP - Bắc Giang, 2017. Báo cáo ĐTM Dự án "Nhà máy nước sạch DNP - Bắc Giang".

Công ty TNHH một thành viên Khai thác công trình thủy lợi Bắc Sông Thương, 2022. Thống kê nhu cầu nước tưới cho sản xuất nông nghiệp của khu vực xung quanh hồ Cấm Sơn.

Nguyễn Mai Hoa, 2024. Đánh giá chất lượng nước hồ Cấm Sơn và đề xuất giải pháp quản lý. *Tuyển tập báo cáo Hội nghị toàn quốc Khoa học Trái đất và Tài nguyên với phát triển bền vững* (ERSD 2024), tr. 633 - 638.

UBND huyện Lục Ngạn, 2024. Báo cáo kinh tế - xã hội năm 2024 của UBND huyện Lục Ngạn.

Assessing the waste sources and wastewater reception capacity of Cam Son Lake

Nguyễn Mai Hoa[1,*]
[1]*Hanoi University of Mining and Geolgy*
**Corresponding author: Email: nguyenmaihoa@humg.edu.vn*

Abstract

Cam Son Lake plays an important role in supplying water for many purposes. Therefore, determining the sources of waste, the amount of waste water generated and the current status of waste source management in the Cam Son Lake basin, and calculating the capacity to receive pollutants of Cam Son Lake are necessary to be able to exploit and use the lake's water resources sustainably. The research was conducted based on methods of collecting, synthesizing and analyzing data; Methods of coefficient to calculate the amount of wastewater generated and method to calculate the load capacity of water sources. Calculation results show that every year Cam Son Lake receives more than 1.3 million m^3 of domestic wastewater; nearly 3 million m^3 of agricultural wastewater; 0.32 million m^3 of wastewater and 45 thousand tons of solid waste (manure) from livestock activities. However, only about 20.56% of domestic wastewater and 3.05% of livestock wastewater are treated before being discharged into the lake. Based on the calculation results, Cam Son Lake is currently no longer able to receive parameters such as TSS, BOD, COD, total nitrogen and NH_4^+. To protect and improve the water quality of Cam Son Lake, in the coming time, it is necessary to strictly control the sources of waste so that the generated sources are within the calculated receiving capacity of the lake. In addition, strengthen monitoring and supervision of lake water quality.

Key words: Cam Son Lake, waste sources, wastewater, load capacity.

THỰC TRẠNG QUẢN LÝ CHẤT THẢI ĐIỆN TỬ, THÁCH THỨC VÀ CƠ HỘI Ở VIỆT NAM

Phạm Khánh Huy[1,*]
[1]*Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
**Tác giả liên hệ: Email: phamkhanhhuy@humg.edu.vn*

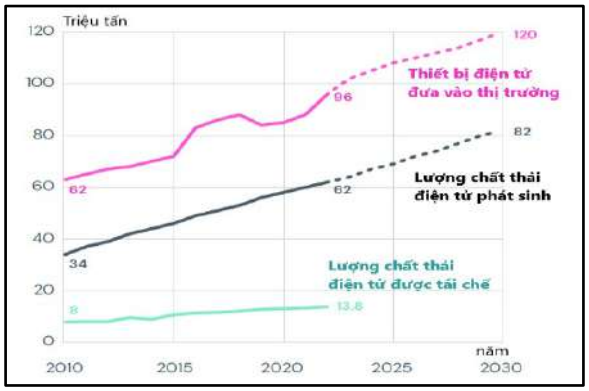
Tóm tắt

Do sự gia tăng về nhu cầu sử dụng các sản phẩm thiết bị điện tử và sự cải tiến, thay đổi mẫu mã đã dẫn tới lượng chất thải đối với nhóm sản phẩm này ngày càng gia tăng. Chất thải điện tử (E-waste) trên toàn cầu đã và đang đã trở thành một trong những dòng chất thải có tốc độ gia tăng nhanh nhất hiện nay. Do trong thành phần có chứa nhiều loại vật liệu khác nhau, đặc biệt là kim loại nặng và các hợp chất độc hại nếu không được xử lý, quản lý phù hợp sẽ tạo ra những tác động xấu tới môi trường và sức khỏe cộng đồng. Bằng phương pháp tổng hợp, thu thập, đánh giá và xử lý số liệu trên thế giới và tại Việt Nam chỉ ra rằng trong năm 2022, khối lượng e-waste toàn cầu đạt khoảng 62 triệu tấn nhưng chỉ 22% trong số đó được xử lý, tái chế đúng quy trình. Tại Việt Nam, theo ước tính lượng phát sinh trong những năm gần đây từ 500.000 đến 700.000 tấn mỗi năm, phần lớn chúng được thu gom, xử lý bởi các khu vực phi chính thức bằng các phương pháp thủ công. Bên cạnh đó, nghiên cứu đã chỉ ra các vấn đề về hiện trạng quản lý chất thải điện tử tại Việt Nam để từ đó thấy được những thách thức gặp phải trong việc quản lý, thu gom, xử lý loại chất thải này nhưng đây cũng là cơ hội tiềm năng. Bài báo đề xuất các giải pháp tổng hợp về chính sách, công nghệ, truyền thông, thực thi chính sách và trách nhiệm mở rộng của nhà sản xuất (EPR) hay áp dụng mô hình kinh tế tuần hoàn đối với chất thải điện tử hướng tới sự phát triển bền vững tại Việt Nam.

***Từ khóa**:* Chất thải điện tử; Trách nhiệm mở rộng của nhà sản xuất (EPR); Kinh tế tuần hoàn.

1. Đặt vấn đề

Trong quá trình công nghiệp hóa và hiện đại hóa, lĩnh vực điện tử được biết đến là ngành công nghiệp lớn và phát triển nhanh nhất so với các ngành khác. Tất cả hoạt động của con người dường như phụ thuộc hoàn toàn vào ngành công nghiệp này để phát triển các công nghệ mới, thúc đẩy nền kinh tế thế giới trên mọi lĩnh vực và chính điều này làm cho nhu cầu, tốc độ tiêu thụ các loại thiết bị điện tử ngày càng mở rộng trên toàn cầu và tại từng quốc gia. Quá trình công nghiệp hóa, hiện đại hóa đã làm cho các thiết bị điện tử nhanh chóng chở nên lạc hậu và bị thay thế để đáp ứng xu thế cần đổi mới của người sử dụng, và các thiết bị cũ trở thành chất thải điện tử (E-waste). Một nguyên nhân khác gây ra sự gia tăng lượng chất thải E-waste đó là tốc độ tăng nhanh chóng về dân số tại nhiều khu vực và dẫn đến cần có một lượng lớn thiết bị để đáp ứng nhu cầu sử dụng của con người, điều này tương đồng với việc một lượng lớn chất thải cũng sẽ được tạo ra. Các thiết bị điện và điện tử này sẽ chở thành chất thải do chúng không được đem đi tái sử dụng.



Hình 1. Tổng lượng chất thải điện tử phát sinh toàn cầu (Cornelis P. Baldé và nnk., 2024)

Theo các con số thống kê và dự báo cho thấy tốc độ gia tăng lượng chất thải điện tử toàn cầu hàng năm là xấp xỉ 2 triệu tấn/năm. Dự báo trong năm 2025 là 65,3 triệu tấn và dự báo tới năm 2030 sẽ là trên 80 triệu tấn (Cornelis P. Baldé và nnk., 2024). Số liệu thống kê cho thấy lượng chất thải điện tử phát sinh hiện nay tăng gần gấp đôi so với năm 2010. Với tốc độ phát sinh này đã khiến chất thải điện tử trở thành dòng chất thải có tốc độ gia tăng nhanh nhất thế giới và đây được xem là vấn đề đáng lo ngại của môi trường liên quan đến chất thải điện tử. Trong Hình 1 là đường thống kê và dự báo lượng thiết bị điện tử được đưa vào thị trường, lượng phát sinh chất thải điện tử và lượng chất thải được xử lý đúng cách trong giai đoạn 2010 đến 2030.

2. Phương pháp nghiên cứu

Trong khuôn khổ nghiên cứu của bài báo, tác giả đã sử dụng các phương pháp nhóm sau để đánh giá thực trạng phát sinh chất thải điện tử trên toàn cầu và tại Việt Nam, từ đó tổng hợp và đề xuất các giải pháp trong quản lý và xử lý loại chất thải này:

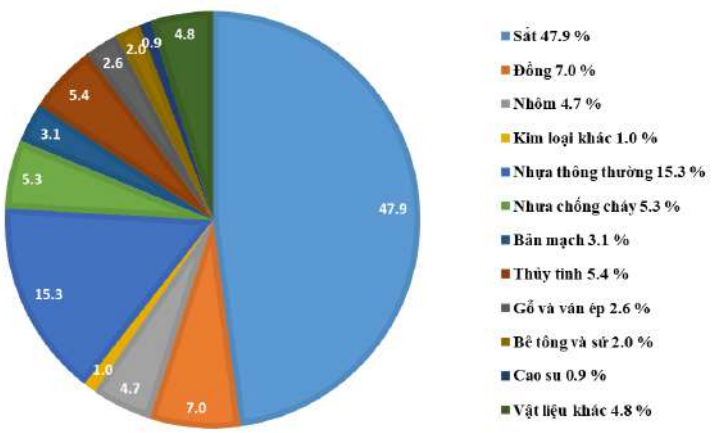
- Phương pháp thu thập số liệu: Trong nghiên cứu, tác giả đã thu thập các số liệu về hiện trạng phát sinh chất thải điện tử trên thế giới, tại các nước tương tự điều kiện Việt Nam và tại Việt Nam, các vấn đề trong quản lý và xử lý loại chất thải này cũng như tiềm năng của chúng từ các nguồn báo cáo khoa học, bài báo nghiên cứu trên các tạp chí uy tín, các website chuyên ngành trên thế giới và tại Việt Nam để đưa ra được thực trạng và các giải pháp có thể triển khai tại Việt Nam.

- Phương pháp tổng hợp, xử lý số liệu: Trong nghiên cứu, tác giả sử dụng phương pháp tổng hợp số liệu, phân tích, đánh giá và xử lý số liệu để thấy được xu thế phát sinh và các vấn đề của loại chất thải này trên thế giới và Việt Nam.

3. Kết quả và thảo luận

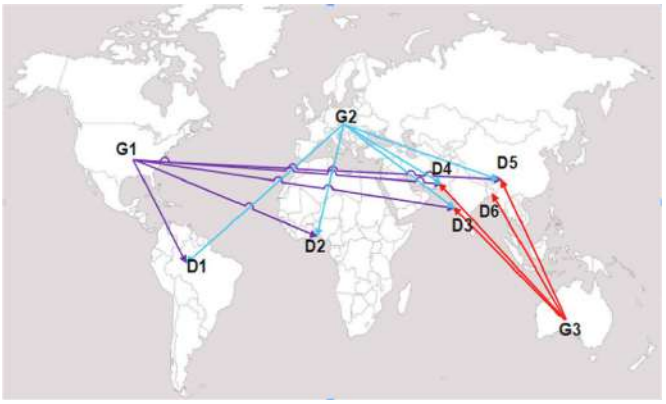
3.1 Nguồn gốc, hiện trạng phát sinh và quản lý chất thải điện tử trên thế giới

Trong năm 2022, theo số liệu thống kê có 62 triệu tấn chất thải điện tử được tạo ra trên toàn cầu, tương đương với mỗi người sẽ thải ra 7,8 kg và chỉ có 22,3% tổng lượng chất thải này có xác nhận được thu gom, tái chế bởi các tổ chức chính thức. Phần còn lại bị thải bỏ ra ngoài môi trường hoặc bị xử lý bởi các đơn vị phi chính thức không xác định. Chất thải điện tử được phân chia thành các nhóm và có khối lượng như sau: Thiết bị có kích thước nhỏ (*lò vi sóng, máy hút bụi, quạt, ấm đun nước, lò nướng bánh, máy cạo râu, máy sấy tóc, radio, dụng cụ và đồ chơi)* là 20,4 triệu tấn; Thiết bị có kích thước lớn *(máy giặt, máy sấy quần áo, bếp, bếp và máy rửa bát…)* là 15,1 triệu tấn; Thiết bị trao đổi nhiệt *(tủ lạnh, tủ đông, máy điều hòa không khí và máy bơm nhiệt…)* là 13,3 triệu tấn; Màn hình *(tivi, máy tính, máy tính xách tay và máy tính bảng)* là 5,9 triệu tấn; Thiết bị CNTT và viễn thông *(điện thoại di động, vỏ điện thoại, bộ định tuyến không dây, bàn phím, máy đọc sách điện tử, GPS và máy tính bỏ túi)* là 4,9 triệu tấn; Bóng đèn và tấm pin quang điện *(bóng đèn và đèn LED*) là 2,5 triệu tấn (Cornelis P. Baldé và nnk., 2024).



Hình 2. Tỉ lệ thành phần các vật liệu trong chất thải điện tử (Mahesh Chander Vats và S. K. Singh, 2014)

Trong chất thải điện tử có hơn 1.000 thành phần khác nhau bao gồm các phi kim, kim loại và chúng có thể chia thành nhóm hợp chất nguy hại và không nguy hại (Mahesh Chander Vats và S. K. Singh, 2014), trong đó khối lượng chiếm nhiều nhất là sắt chiếm tới 48%, tiếp đến là nhựa hơn 20%. Đặc biệt trong thành phần có chứa nhiều kim loại có giá trị như đồng, vàng, bạc, niken, nhôm, đất hiếm và các kim loại nặng nguy hại như chì, thuỷ ngân, cadimi, beri có tổng khối lượng là khoảng 13%. Những thành phần này có thể được thu hồi, tái chế hay bị thải bỏ ra ngoài môi trường bừa bãi, khi các quá trình thải bỏ, xử lý, tái chế, thu hồi, quản lý loại chất thải này không đúng phương pháp sẽ là nguyên nhân gây ra những tác động xấu tới môi trường sống và sức khỏe con người do quá trình phát tán và phân hủy phức tạp của chúng (Muskan Jain và nnk., 2023).



Hình 3. Sơ đồ nguồn gốc và xuất khẩu chất thải điện tử trên thế giới (Muskan Jain và nnk., 2023)

Tại một số quốc gia phát triển trên thế giới, việc xử lý loại chất thải này bị giới hạn, nên hiện đã và đang gây ra các vấn đề liên quan tới xử lý chất thải điện tử. Còn tại những nước đang phát triển, việc xử lý chất thải này là thấp hơn bởi nhiều nguyên nhân như thiếu các quy định về môi trường trong công nghệ xử lý đã dẫn tới sự gia tăng lượng chất thải điện tử tại các nước này thông qua con đường nhập khẩu thiết bị đã qua sử dụng hoặc bất hợp pháp (Mundada và nnk., 2004). Trong hình 3, các điểm G biểu thị cho nhóm các quốc gia tạo ra chất thải điện tử (các quốc gia tại khu vực Bắc Mỹ, Tây Âu và Úc) còn các điểm D biểu thị cho các quốc gia là điểm đến của loại chất thải này, chúng được nhập khẩu bằng con đường chính thức hoặc bất hợp pháp tại khu vực châu Á đó là Thái Lan, Ấn Độ, Trung Quốc và Việt Nam.

3.2 Nguồn gốc, hiện trạng phát sinh và quản lý chất thải điện tử tại Việt Nam

3.2.1 Nguồn gốc, hiện trạng phát sinh chất thải điện tử tại Việt Nam

Cũng như nhiều quốc gia khác trên thế giới, chất thải điện tử ở Việt Nam cũng đang gia tăng nhanh chóng, tuy nhiên chúng ta chưa có đầy đủ các số liệu thống kê về tổng lượng đối với loại chất thải này. Trong nghiên cứu của Shunichi Honda, đại học United Nation Nhật Bản, tại Việt Nam năm 2015 có khoảng 115.000 tấn chất thải điện tử với tỉ lệ phát thải bình quân đầu người là 1,34kg (Shunichi Honda và nnk., 2017), theo Nguyễn Đình Thọ, tới 2019 có khoảng 257.000 tấn chất thải điện tử với tỉ lệ phát sinh bình quân đầu người tăng lên là 2,7kg (Nguyễn Đình Thọ và nnk., 2021), và theo kết quả nghiên cứu của Nguyễn Đức Quảng dự báo đến năm 2025 lượng chất thải phát sinh năm 2025 sẽ là khoảng 567.000 tấn (Nguyễn Đức Quảng và nnk., 2017).

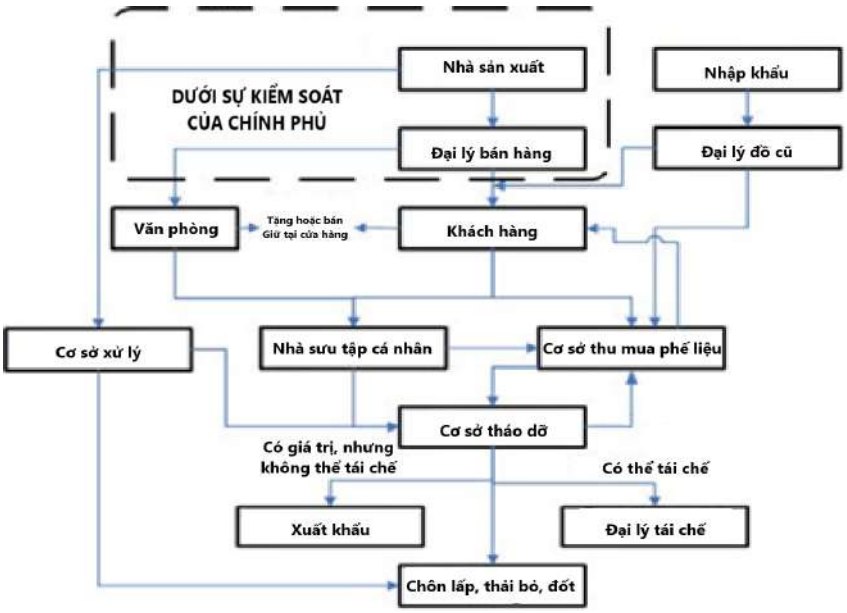
Nguồn phát sinh chất thải điện tử tại Việt Nam về cơ bản là như các quốc gia khác trên thế giới, chúng được sinh ra từ hoạt động của các cơ quan nhà nước, cơ sở sản xuất kinh doanh, bệnh viện và hộ gia đình. Lượng phát sinh chất thải điện tử được xác định từ số lượng sản phẩm điện tử được đưa vào thị trường được lấy từ các số liệu nhập khẩu theo con đường chính ngạch bao gồm cả thiết bị mới và đã qua sử dụng và từ số liệu được cung cấp bởi các doanh nghiệp sản xuất thiết bị điện tử hoạt động tại Việt Nam. Tuy nhiên còn có một số lượng lớn chất thải điện tử bị vận chuyển trái phép qua biên giới chủ yếu từ các nước làng giềng là Trung Quốc và Campuchia, đây là hoạt động bất hợp pháp, dẫn đến lượng chất thải điện tử không thể đo lường được. Mặc dù kể từ năm 2013, Việt Nam đã cấm nhập khẩu thiết bị điện, điện tử đã qua sử dụng theo Nghị định số

187/2013/ND-CP nhưng số lượng này có xu thế tăng lên kể từ khi lệnh cấm nhập khẩu chất thải của Trung Quốc có hiệu lực từ năm 2018. Nguyên nhân là mặc dù Việt Nam và Trung Quốc đều cấm nhập khẩu, nhưng lại cho phép nhập khẩu và tái xuất loại chất thải này, thiết bị điện tử đã qua sử dụng có thể được nhập khẩu để sửa chữa, tái chế sau đó được tái xuất lại và đây có thể là một kẽ hở để chất thải điện tử bị nhập lậu vào Việt Nam và không xác định được.

3.2.2 Thực trạng quản lý chất thải điện tử tại Việt Nam

Tại Việt Nam hiện nay, các hoạt động thu gom, tái chế và xử lý chất thải điện tử đang có sự tham gia của cả hai khu vực phi chính thức và chính thức. Đối với khu vực chính thức thì số lượng các đơn vị có đủ năng lực thu gom, tái chế chất thải điện tử đang rất ít, có thể kể tên như tại Hà Nội là Công ty TNHH MTV Môi trường đô thị Hà Nội (URENCO), tại Thành phố Hồ Chí Minh là Công ty TNHH MTV Môi trường đô thị Thành phố Hồ Chí Minh (CITENCO) và một số đơn vị khác như Công ty TNHH Thương mại và Dịch vụ Môi Trường Xanh, Công ty CP Xử lý và Tái chế chất thải công nghiệp Hòa Bình… Còn khu vực phi chính thức bao gồm những người thu gom đồng nát, các cơ sở ve chai, phế liệu, các cửa hàng dịch vụ sửa chữa và các làng nghề. Theo thống kê trên toàn quốc có khoảng 90 làng nghề tham gia vào các hoạt động tái chế chất thải, chủ yếu ở miền Bắc là 61 làng nghề; miền Trung 25 và miền Nam có 5 làng nghề, nhưng trong đó chỉ có khoảng 30 làng nghề có hoạt động tái chế rác thải điện tử (Đặng Kim Chi, 2022). Hệ thống thu gom chất thải điện tử tại Việt Nam chủ yếu dựa trên khu vực phi chính thức là các cá nhân thu mua phế liệu, người nhặt rác và các cửa hàng sửa chữa. Thông qua các đơn vị có qui mô nhỏ này mà các thiết bị điện tử thải sẽ được kiểm tra, phân loại và tháo rỡ linh kiện còn sử dụng được và bán lại cho các cửa hàng sửa chữa để tái sử dụng với chi phí rẻ hơn linh kiện mới.

Trong nghiên cứu của tác giả Nguyễn Đức Quảng, có đưa ra sơ đồ dòng chảy của thiết bị điện tử thải tại Việt Nam được thể hiện trong Hình 4. Trên sơ đồ này cho thấy có 9 bên liên quan tới sự phát sinh, quản lý và xử lý đối với loại chất thải này đó là: 1- Nhà sản xuất/nhập khẩu và đại lý bán hàng; 2- Người tiêu dùng (hộ gia đình hoặc cơ quan); 3- Người thu gom (là các đối tượng tư nhân); 4- Cửa hàng phế liệu/cửa hàng dịch vụ (tư nhân); 5- Đơn vị tháo dỡ (tư nhân, không chính thức); 6- Doanh nghiệp; 7- Cơ sở xử lý chất thải nguy hại; 8- Đơn vị xuất khẩu (tư nhân, không chính thức); và 9- Cơ sở xử lý chất thải cuối cùng (Nguyễn Đức Quảng và nnk., 2017).



Hình 4. Sơ đồ dòng chảy thiết bị gia dụng thải bỏ tại Việt Nam (Nguyễn Đức Quảng và nnk., 2017)

Một vấn đề rất rõ trong việc quản lý chất thải điện tử tại Việt Nam có thể thấy ở đây đó là chỉ có các nhà sản xuất và đại lý bán hàng mới đang chịu sự kiểm soát của chính phủ, còn các đối tượng khác là chưa bị kiểm soát và chưa có chính sách phù hợp cho các đối tượng này.

Một số làng nghề tái chế chất thải điện tử tại khu vực phía Bắc Việt Nam có thể kể đến đó là làng tái chế Cẩm Xá - Mỹ Hào, Hưng Yên, làng nghề này chủ yếu là thu mua, tái chế chất thải điện tử sau đó tiến hành tháo dỡ các chi tiết điện tử có thể tái sử dụng như nhựa, kim loại, các bo mạch điện tử… sau đó phân loại và chuyển cho các làng nghề khác tại Hưng Yên, Vĩnh Phúc, Hải Phòng hoặc xuất khẩu (trái phép) sang Trung Quốc. Làng tái chế Mẫn Xá, Văn Môn - Yên Phong - Bắc Ninh, với ngành nghề chính là đúc nhôm, chì và sản xuất đồ gia dụng từ đồng, nhôm từ phế liệu dây điện, dụng cụ gia dụng, vỏ máy các loại... Làng tái chế Tràng Minh - Kiến An - Hải Phòng, với ngành nghề chính buôn bán và tái chế phế liệu với nguồn nguyên liệu thu gom chủ yếu là các vi mạch phát sinh từ quá trình phá rỡ ti vi, máy vi tính hỏng, đồng, nhôm, sắt, bao và chai nhựa…

Phương pháp tái chế, xử lý chất thải điện tử ở các làng nghề này hoàn toàn là thủ công với công nghệ đơn giản, người lao động chỉ được trang bị các bảo hộ thô sơ như găng tay và khẩu trang thường. Phế liệu thu gom được chứa ngay trong các khu dân cư thậm chí không có nhà xưởng để che chắn hạn chế tác động và phát tán ra ngoài môi trường.

Sau khi tháo dỡ, phân loại các nhóm chất thải không tái chế được sẽ bị thải thẳng ra môi trường - khu vực đồng ruộng xung quanh làng, được đốt cháy và không qua một công đoạn xử lý nào khác.

Hình 5. Một số hình ảnh tại các làng nghề tái chế chất thải điện tử tại miền bắc Việt Nam

Bắt đầu từ năm 2011, Việt Nam đã có những chính sách quản lý đối với chất thải điện tử đó là Thông tư số 12/2011/TT- BTNMT đã nêu ra tất cả các thiết bị điện tử bị thải bỏ và bộ phận/linh kiện của chúng đều được coi là CTNH. Tiếp đến trong Quyết định số 50/2013/QĐ-TTg ngày 9/8/2013 của Thủ tướng Chính phủ đã qui định trách nhiệm nhà sản xuất/nhập khẩu về việc thu hồi và xử lý các sản phẩm điện tử thải bỏ và người tiêu dùng phải mang sản phẩm thải bỏ tới các điểm thu hồi. Một số nội dung của quyết định trên đã được quy định lại như về vấn đề thu hồi, xử lý sản phẩm thải bỏ bởi Quyết định số 16/2015/QĐ-TTg ngày 22/5/2015 của Thủ tướng Chính phủ. Tới năm 2018 chúng ta lại tiếp tục có Quyết định số 491/QĐ-TTg ngày 07/5/2018 và Thông tư số 11/2018/TT-BTTTT với việc phê duyệt điều chỉnh chiến lược quốc gia về quản lý tổng hợp CTR đến năm 2025, tầm nhìn đến năm 2050 quy định: trong đó có mục tiêu đến năm 2025 có "100% các nhà sản xuất thiết bị điện tử phải thiết lập và công bố các điểm thu hồi sản phẩm thải bỏ theo quy định của pháp luật" và công bố chi tiết danh mục sản phẩm công nghệ thông tin đã qua sử dụng cấm nhập khẩu kèm theo mã số HS. Luật Bảo vệ Môi trường 2020 và luật bảo vệ môi trường sửa đổi số 21/VBHN-VPQH ngày 29/12/2022 với các Điều 54, 55 có qui định trách nhiệm tái chế, thu gom, xử lý chất thải liên quan đến TB điện-điện tử và những quy định về phát triển kinh tế tuần hoàn (KTTH) được xác định trong danh mục ban hành kèm theo Phụ lục tại Nghị định số 08/2022/NĐ-CP ngày 10 tháng 01 năm 2022 của Chính phủ.

Qua đây ta thấy rằng, Việt Nam đã và đang rất quan tâm và hiểu được tầm quan trọng chiến lược trong việc cần phải quản lý và xử lý đối với loại chất thải này. Tuy nhiên, việc thực thi còn gặp rất nhiều khó khăn do trình độ quản lý, năng lực kinh tế, các chính sách, chế tài xử phạt chưa đủ mạnh và đặc biệt là chưa có sự phối hợp chặt chẽ giữa các bên liên quan. Mặc dù đã có nhiều chương trình đã được thực hiện nhưng việc duy trì và nhân rộng các mô hình này là rất khó khăn ví dụ như chương trình "Tuần thu gom chất thải nguy hại hộ gia đình" do phòng Tài nguyên và Môi trường phối hợp với

Phòng Giáo dục và Đào tạo tổ chức trên địa bàn Quận 1, TP Hồ Chí Minh năm 2020, Chương trình đổi rác thải tái chế lấy quà tặng diễn ra từ ngày 5 tháng 9 năm 2020 thực hiện bởi Công ty URENCO tại 4 quận Hoàn Kiếm, Đống Đa, Hai Bà Trưng, Ba Đình vào sáng thứ bảy hàng tuần.

Lợi ích từ việc quản lý, xử lý, tái chế chất thải điện tử đúng cách sẽ là một cơ hội tốt cho chúng ta trong việc có thể sử dụng tối đa nguồn tài nguyên không tái tạo, giảm việc khai thác khoáng sản và giảm các tác động ô nhiễm tới môi trường sống. Tuy nhiên, sự gia tăng lượng chất thải điện tử trong nước ngày càng nhanh đang tạo nhiều áp lực cho công tác quản lý, xử lý loại chất thải này. Đặc biệt là việc lựa chọn, áp dụng các công nghệ xử lý mới trong chôn lấp, thu hồi tái chế các thành phần có giá trị có trong thiết bị thải bỏ cũng như các chính sách gắn kèm với việc phát triển công nghệ theo xu hướng tái tạo năng lượng và kinh tế tuần hoàn.

4. Kết luận và kiến nghị

Chất thải điện tử hiện được xem là một vấn đề toàn cầu, đối với Việt Nam trong những năm gần đây lượng phát sinh ước tính từ 500.000 đến 700.000 tấn mỗi năm, phần lớn chúng được thu gom, xử lý bởi các khu vực phi chính thức và bằng các phương pháp thủ công. Điều này đã và đang gây nhiều tác động xấu tới môi trường sống và sức khỏe con người. Với các giá trị về kinh tế và môi trường chúng ta cần phải có những nghiên cứu đánh giá cẩn thận, chi tiết hơn về các con số thống kê về loại và lượng của chất thải điện tử. Việc xử lý, tái chế và thu hồi các thành phần có giá trị sẽ làm giảm sự lãng phí nguồn tài nguyên, việc xử lý đúng cách, công nghệ thích hợp sẽ góp phần giảm các ảnh hưởng của biến đổi khí hậu, nguy hại tới môi trường và sức khỏe con người. Bắt buộc các đơn vị thu gom, xử lý phát triển công nghệ xanh, áp dụng các mô hình kinh tế tuần hoàn trong qui trình sản xuất và tái chế chất thải điện tử đặc biệt là nhóm phi chính thức như tại các làng nghề. Các cơ quan Nhà nước cần tiếp tục xây dựng các chính sách riêng cho chất thải điện tử và thực hiện các cam kết quốc gia. Một số kiến nghị trong lĩnh vực quản lý chất thải điện tử có thể đề xuất trong giai đoạn tới như sau:

- Cam kết và đẩy mạnh việc thực hiện Công ước Basel đối với chất thải điện tử như kiểm soát dòng di chuyển chất thải xuyên biên giới; Cung cấp các tiêu chuẩn thông qua áp dụng công nghệ; Có các hướng dẫn quản lý môi tường bền vững với chất thải điện tử; Nâng cao nhận thức, hợp tác quốc tế, áp dụng các sáng kiến quốc gia.

- Đẩy mạnh công cụ tài chính trong thu hồi chất thải điện tử như ký quỹ hoàn chi và chi phí thu gom, xử lý và tái chế.

- Nâng cao nhận thức cộng đồng về tác hại của chất thải điện tử đối với môi trường và sức khoẻ của con người.

- Hỗ trợ các thương hiệu với chính sách EPR như việc chọn mua đồ điện tử từ các thương hiệu đã thực hiện chính sách Trách nhiệm Nhà sản xuất Mở rộng (EPR).

- Sử dụng các tổ chức chịu trách nhiệm của nhà sản xuất (PRO) đó là các đơn vị được chỉ định để quản lý và giám sát việc tái chế và xử lý chất thải điện tử thay mặt cho các nhà sản xuất.

- Thực hành 3R: Giảm thiểu - chỉ mua những thiết bị điện tử thực sự cần và kéo dài tuổi thọ của thiết bị thông qua việc bảo trì thích hợp; Tái sử dụng - bất cứ khi nào có thể, cân nhắc việc tái sử dụng các thiết bị điện tử hoặc tặng chúng cho các tổ chức có thể sử dụng; Tái chế - đảm bảo việc tái chế chất thải điện tử đúng cách thông qua các đơn vị được ủy quyền để thu hồi các vật liệu có giá trị và giảm thiểu tác động đến môi trường.

- Tìm kiếm các trung tâm thu gom, tái chế được ủy quyền đó phải là các đơn vị được chứng nhận hoặc các trung tâm có trách nhiệm với môi trường trong việc xử lý và tiêu hủy chất thải điện tử.

- Chỉ giao chất thải điện tử của bạn cho cơ sở tháo dỡ được chính phủ phê duyệt, những người tuân thủ các quy định và thực hành thân thiện với môi trường.

- Khuyến khích và tham gia vào các hoạt động thu gom chất thải điện tử cấp cộng đồng. Tổ chức các sự kiện hoặc hợp tác với các tổ chức địa phương để nâng cao nhận thức và thúc đẩy việc xử lý rác thải điện tử có trách nhiệm trong cộng đồng của bạn.

Tài liệu tham khảo

C. P. Baldé, R. Kuehr, T. Yamamoto, R. McDonald, E. Angelo, S. Althaf, G. Bel, O. Deubzer, E. F. Cubillo, V. Forti, V. Gray, S. Herat, S. Honda, G. Iattoni, D. S. Khetriwal, V. L. Cortemiglia, Y. Lobuntsova, I. Nnorom, N. Pralat, M. Wagner (2024). The global E - waste monitor 2024 *International Telecommunication Union (ITU) and United Nations Institute for Training and Research (UNITAR)*.

Đặng Kim Chi (2022) Ô nhiễm tại các làng nghề Việt Nam và đề xuất giải pháp bảo vệ môi trường giai đoạn 2021 - 2025. *Tạp chí Môi trường*, 1, 2022.

M. Jain, D. Kumar, J. Chaudhary, S. Kumar, S. Sharma, A. S. Verma (2023). Review on E-waste management and its impact on the environment and society. *Waste Management Bulletin*, 1:3, pp 34 - 44.

M. N. Mundada, S. Kumar, A. V. Shekdar (2004). E ‐ waste: a new challenge for waste management in India. *International Journal of Environmental Studies*, 61(3), 265-279.

M. C. Vats and S. K. Singh. (2014). E-Waste characteristic and its disposal. *International Journal of Ecological Science and Environmental Engineering*, 1.2014, pp. 49 - 61.

Nguyễn Đình Thọ, Nguyễn Trung Thắng, Dương Thị Phương Anh, Nguyễn Thế Thông (2021), Thực trạng và chính sách phát triển mô hình kinh tế tuần hoàn trong lĩnh vực rác thải điện tử. *Tạp chí Môi trường*, 12, 2021.

Nguyen Duc Quang, Ha V. Hung, Y. Eiji, Huynh Trung Hai (2017). Material flows from electronic waste: Understanding the shortages for Extended Producer Responsibility implementation in Vietnam. *Procedia CIRP*, 61, pp 651 - 656.

S. Honda, D. S. Khetriwal, R. Kuehr (2016). Regional E-waste monitor: East and Southest Asia, *United Nation University and Ministry of the Environment*.

Current status of e-waste management, challenges and opportunities in Vietnam

Pham Khanh Huy[1,*]

[1]*Hanoi University of Mining and Geolgy*

* *Corresponding Author: Email: phamkhanhhuy@humg.edu.vn*

Abstract

Due to the increasing demand for electronic products and the improvement and change in design, the amount of waste for this product group is increasing. Electronic waste (E-waste) globally has become one of the fastest growing waste streams today. Because it contains many different types of materials, especially heavy metals and toxic compounds, if not treated and managed properly, it will create negative impacts on the environment and public health. By synthesizing, evaluating and processing data in the world and in Vietnam, it is shown that in 2022, the global volume of e-waste will reach about 62 million tons, but only 22% of it will be treated and recycled properly. In Vietnam, it is estimated that the amount generated in recent years is about 500,000 - 700,000 tons per year, most of which are collected and processed by informal sectors using manual methods. In addition, the study has pointed out the problems of the current status of electronic waste management in Vietnam, from which we can see the challenges facing in managing, collecting and treating this type of waste, but this is also a potential opportunity. From there, propose comprehensive solutions on policy, technology, communication, implementation of extended producer responsibility (EPR) policy or application of circular economy model for e-waste towards sustainable development in Vietnam.

Keywords: E-waste; Extended Producer Responsibility (EPR); Circular economy.

MỘT SỐ TÍNH CHẤT VẬT LÝ, HÓA HỌC VÀ CƠ HỌC CỦA TRO ĐÁY LÒ ĐỐT RÁC THẢI SINH HOẠT KHU VỰC PHÍA BẮC VIỆT NAM

Phùng Đại Bình[1,2], Vũ Anh Tuấn[1*], Phạm Đức Tiệp[1], Phạm Đức Phong[1], Bùi Đức Thụ[3]

[1]Học viện Kỹ thuật quân sự; [2]Binh chủng Công binh

[3]Công ty Cổ phần Quản lý công trình đô thị Hải Dương

[*]Tác giả liên hệ: Email: vuanhtuan@mta.edu.vn

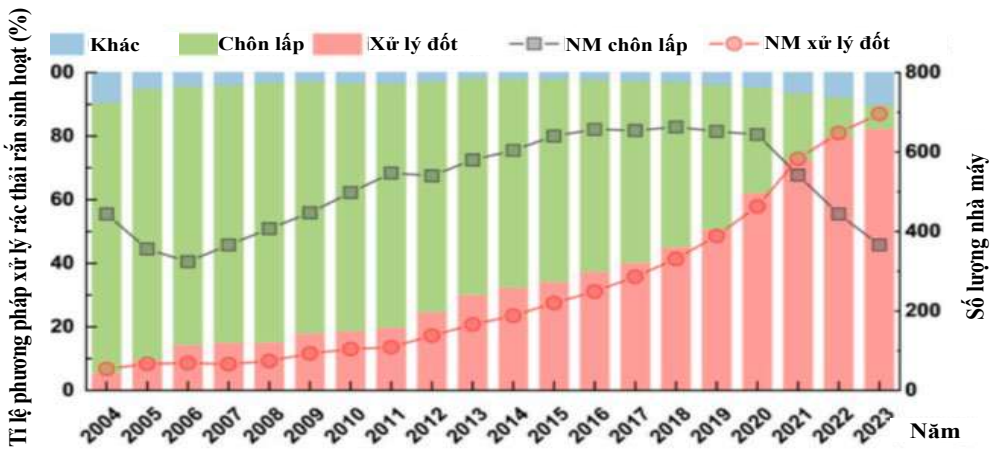
Tóm tắt

Trong xây dựng công trình hiện nay, việc sử dụng các vật liệu đắp nền vẫn chủ yếu là các loại đất, đá, cát và các sản phẩm từ chúng, việc này đòi hỏi phải khai thác từ các mỏ đất, đá sông suối làm cạn kiệt tài nguyên đất, cát, gây ra nhiều tác hại đối với môi trường sinh thái. Việc sử dụng tro đáy của lò đốt rác sinh hoạt để làm vật liệu đắp nền vẫn chưa được chính thức áp dụng ở nước ta. Để đáp ứng được các nhiệm vụ thiết kế, thi công công trình khi sử dụng tro đáy từ lò đốt rác thải sinh hoạt, đòi hỏi phải có sự nghiên cứu và đánh giá cụ thể các chỉ tiêu vật lý, hóa học và cơ lý. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu một số tính chất vật lý, hóa học và cơ học của tro đáy lò đốt rác thải sinh hoạt tại một số nhà máy đốt rác tại Thành phố Hải Phòng và Hà Nội. Kết quả nghiên cứu cho thấy tro đáy lò đốt rác thải sinh hoạt lấy từ các nhà máy đốt rác tại Hải Phòng và Hà Nội không gây nguy hại cho môi trường; tro đáy được xếp vào loại đất cát có cấp phối tốt (SW); có hệ số rỗng tương đối cao từ 1,521 đến 2,313, phản ánh cấu trúc rỗng xốp. Tro đáy có khả năng đầm nén tốt, đạt khối lượng thể tích khô lớn nhất là 1,274 ÷ 1,282 g/cm³ tại độ ẩm tối ưu khoảng 24,4% ÷ 24,5%, cho thấy tiềm năng sử dụng làm vật liệu đắp nền.

Từ khóa: Tro đáy lò đốt rác, chất thải rắn sinh hoạt, vật liệu đắp.

1. Đặt vấn đề

Theo số liệu báo cáo từ Ngân hàng Thế giới (World Bank), lượng chất thải rắn đô thị trên thế giới dự kiến sẽ tăng từ 2,59 tỷ tấn vào năm 2030 và lên 3,4 tỷ tấn vào năm 2050 (Huỳnh T.N. Hân, 2024). Với sự gia tăng nhanh chóng của lượng chất thải rắn đô thị, đòi hỏi sự gia tăng công suất và số lượng của các lò đốt chất thải rắn, đặc biệt tại các thành phố lớn. Trong những năm gần đây, việc xử lý chất thải rắn bằng phương pháp đốt ngày càng được áp dụng nhiều hơn ở châu Âu (Eurostat, 2023), Hoa Kỳ (USEPA, 2022), Trung Quốc (Chen và nnk, 2025), Ấn Độ (Arijeet và nnk, 2023), Thái Lan (Muthuraja và nnk, 2024). Hình 1 thể hiện tỉ lệ các phương pháp xử lý rác thải rắn sinh hoạt tại Trung Quốc từ năm 2004 đến năm 2023 (Chen và nnk, 2025). Trung bình, khối lượng chất thải rắn (tro xỉ) sau khi đốt có thể đạt từ 15 đến 25% khối lượng rác thải đầu vào. Vì vậy, việc quản lý và xử lý chất thải rắn sau khi đốt trở thành mối quan tâm lớn ở nhiều nước trên thế giới.



Hình 1. Tỉ lệ các phương pháp xử lý rác thải rắn sinh hoạt tại Trung Quốc từ năm 2004 đến năm 2023.

Việt Nam hiện đang nằm trong số 20 quốc gia có lượng rác thải lớn nhất thế giới và cao hơn mức trung bình, do việc quản lý và xử lý rác còn hạn chế. Theo ước tính, trung bình mỗi người Việt thải ra 1,2 kg/ngày (tương ứng gần 70.000 tấn rác thải/năm). Và hiện nay, có tới trên 70% lượng rác thải tại Việt Nam đang được xử lý chủ yếu bằng công nghệ chôn lấp, chỉ có 13% rác được đốt cháy để thu hồi năng lượng (Thanh Nga, 2024). Việc chôn lấp rác đang ngày càng khó khăn khi quỹ đất dùng cho việc này ngày một thu hẹp. Theo thống kê của Cục Kiểm soát ô nhiễm môi trường, Bộ Tài nguyên và Môi trường, Việt Nam hiện có 15 nhà máy đốt rác phát điện đang được triển khai xây dựng, trong đó đã có một số nhà máy chính thức phát điện. Điển hình như Nhà máy điện rác Sóc Sơn, Hà Nội với công suất 1.000 tấn/lò/ngày; một ngày nhà máy tiếp nhận 5.000 tấn rác, công suất phát điện là 90 MW; dự án Nhà máy điện rác Vĩnh Tân, tỉnh Bình Thuận, với công suất 600 tấn rác/ngày, công suất phát điện 30 MW; dự án Nhà máy điện rác Phù Ninh, tỉnh Phú Thọ, với công suất 500 tấn rác/ngày, công suất phát điện 25 MW; dự án Nhà máy điện rác Củ Chi, TP. Hồ Chí Minh, với công suất mỗi nhà máy là 1.000 tấn rác/ngày, công suất phát điện 50 MW (Thanh Nga, 2024). Ngoài các nhà máy điện rác lớn, cả nước cũng có khoảng 1.712 cơ sở xử lý chất thải rắn sinh hoạt, bao gồm 467 lò đốt chất thải rắn sinh hoạt, 38 dây chuyền sản xuất phân compost. Còn lại có khoảng hơn 1.200 bãi chôn lấp chất thải rắn sinh hoạt.

Đặc tính hóa học của tro đáy đã được tiến hành nghiên cứu như Chen và Lin (2006), Lynn và nnk (2017), Gupta và nnk (2021), Wang và nnk (2024),... Thành phần hóa học của tro đáy có thể thay đổi nhiều, phụ thuộc vào nguồn rác thải rắn cung cấp cho lò đốt; các thành phần chính bao gồm SiO_2, CaO, $Al2O_3$, và Fe_2O_3; hàm lượng SiO_2 và CaO thay đổi trong một phạm vi rộng (Chen và nnk, 2024). Trong nghiên cứu của Lin cùng cộng sự (2012), thành phần hóa học chính của tro đáy gồm Al_2O_3 (0,83÷9,48%); Fe_2O_3 (1,20÷18,99%); SiO_2 (52,54÷89,73%); CaO (4,47÷27,64%). Trong nghiên cứu của Chen và Lin (2006), thành phần chính của tro đáy lò đốt rác thải sinh hoạt là SiO_2 (25,8%), CaO (26,1%), Fe_2O_3 (10,3%), Al_2O_3 (6,3%) và một số chất khác. Nghiên cứu của Le và nnk (2018) cho thấy tro đáy là một vật liệu không nguy hại, có thành phần chính là SiO_2. Nghiên cứu của Ngô Trà Mai và Bùi Quốc Lập (2015) chỉ ra hàm lượng các chất độc hại của tro xỉ tại Nhà máy xử lý rác Đan Phượng, Hà Nội đều nằm dưới ngưỡng cho phép theo Quy chuẩn Việt Nam 07:2009/BTNMT (Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về ngưỡng chất thải nguy hại); và tro xỉ này có thể nghiên cứu để sử dụng trong công nghiệp và xây dựng. Cao Tiến Phú và nnk (2021) đã chỉ ra thành phần các chất độc hại của tro xỉ đáy đốt rác phát điện tại Cần Thơ trong ngưỡng giới hạn của Quy chuẩn Việt Nam 07:2009/BTNMT, đồng thời đã nghiên cứu tro xỉ kết hợp với phụ gia để làm gạch bê tông, thay thế được 30% cốt liệu tự nhiên truyền thống.

Trong nghiên cứu của Nguyễn Anh Tuấn và Nguyễn Châu Lân (2020), Nguyễn Châu Lân và nnk (2021), các tác giả sử dụng tro đáy của nhà máy xử lý rác Đan Phượng - Hà Nội để tiến hành nghiên cứu đặc tính lý hóa và đặc tính chống cắt của tro đáy. Kết quả nghiên cứu chỉ ra, tro đáy nhà máy đốt rác Đan Phượng trên địa bàn Hà Nội không gây nguy hại cho môi trường, tro xỉ có góc ma sát trong và cường độ lực dính khá cao và bước đầu đánh giá khả năng sử dụng tro đáy của nhà máy rác Đan Phượng làm gạch không nung và vật liệu đắp. Cao Tiến Phú và nnk (2021) đã nghiên cứu sử dụng tro đáy nhà máy đốt rác phát điện tại Cần Thơ kết hợp với phụ gia để làm gạch bê tông, thay thế được 30% cốt liệu tự nhiên truyền thống.

Hoàng Văn Mạnh và nnk (2021) nghiên cứu thực nghiệm trong phòng, xem xét các đặc tính chống cắt của tro xỉ lò đốt rác thải sinh hoạt bằng thí nghiệm cắt phẳng. Vật liệu tro xỉ được lấy tử lò đốt rác thải sinh hoạt Thành Quang, thành phố Hà Nội. Các thí nghiệm cắt phẳng chịu tải trọng đơn với mẫu tro xỉ ở trạng thái độ ẩm tốt nhất được tiến hành để nghiên cứu các đặc trưng chống cắt của tro xỉ. Kết quả nghiên cứu chỉ ra các đặc trưng chống cắt của tro xỉ lò đốt rác thải sinh hoạt không chỉ bao gồm góc ma sát trong, như các loại đất rời thông thường khác mà còn bao gồm lực dính biểu kiến. Giá trị góc ma sát trong, φ, của mẫu tro xỉ sử dụng trong nghiên cứu này dao động trong khoảng 37,76 độ đến 65,58 độ, phụ thuộc vào độ chặt và hiệu ứng của tải trọng. Còn giá trị cường độ lực dính biểu kiến, c, nằm trong khoảng từ 61,06 kPa đến 91,52 kPa.

Vũ Ngọc Trụ và nnk (2024) đã nghiên cứu sử dụng tro bay và xỉ đáy lò của nhà máy điện rác Ngôi Sao Xanh, tỉnh Bắc Ninh để chế tạo bê tông cường độ cao trong điều kiện phòng thí nghiệm. Kết quả nghiên cứu đã cho thấy khả năng sử dụng (0÷30)% các loại tro bay và xỉ đáy lò của nhà máy điện đốt rác để chế tạo bê tông cường độ cao.

Hiện nay, trong nước vẫn chưa thực sự có nhiều các nghiên cứu toàn diện, đầy đủ các tính chất vật lý, hóa học và cơ học của tro đáy lò đốt rác thải sinh hoạt. Vì vậy, tro đáy lò đốt rác thải sinh hoạt vẫn chưa được áp dụng phổ biến để thay thế các vật liệu truyền thống trong xây dựng nói chung và xây dựng công trình giao thông nói riêng. Do đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm xác định các đặc tính vật lý, hóa học và một số chỉ tiêu cơ học cơ bản của tro đáy thu thập từ một số nhà máy đốt rác tại khu vực phía Bắc Việt Nam; so sánh các đặc tính thu được với kết quả từ các nghiên cứu trước đây trên thế giới và trong nước, cũng như đối chiếu với các tiêu chuẩn kỹ thuật liên quan; đề xuất khả năng sử dụng tro đáy lò đốt rác thải sinh hoạt làm vật liệu xây dựng công trình.

2. Vật liệu và phương pháp thí nghiệm

2.1 Vật liệu

Mẫu vật liệu sử dụng trong nghiên cứu này là các mẫu tro đáy được lấy riêng biệt, không trộn lẫn, từ 03 nhà máy đốt rác trên địa bàn thành phố Hải Phòng và 01 nhà máy đốt rác trên địa bàn thành phố Hà Nội, gồm nhà máy đốt rác của Công ty Cổ phần Quản lý công trình đô thị Hải Dương, nhà máy đốt rác của Công ty APT, nhà máy đốt rác của Công ty Minh Phúc (Hải Phòng); Nhà máy đốt rác phát điện Sóc Sơn (Hà Nội), để tiến hành các thí nghiệm. Các mẫu tro đáy thu thập từ các nhà máy được vận chuyển đến phòng thí nghiệm Địa kỹ thuật - Học viện Kỹ thuật quân sự. Tại phòng thí nghiệm, mẫu được phơi khô tự nhiên và loại bỏ các tạp chất như thủy tinh, mảnh sành (Hình 1).

Hình 1. Thu thập và xử lý mẫu vật liệu thí nghiệm

2.2 Phương pháp thí nghiệm

Các tính chất vật lý, cơ học và hóa học tro đáy được xác định bằng các phương pháp thí nghiệm tiêu chuẩn, cụ thể như sau:

2.2.1 Thí nghiệm xác định thành phần hạt

Thí nghiệm rây sàng được tiến hành theo TCVN 4198:2014 về đất xây dựng để xác định đường cong cấp phối của vật liệu tro đáy lò đốt rác thải sinh hoạt. Bộ rây sàng được sử dụng trong thí nghiệm này có kích thước các mắt sàng 5 mm; 2 mm; 1 mm; 0,5 mm; 0,25 mm; 0,1 mm (Hình 2).

Hình 2. Thí nghiệm xác định thành phần hạt

2.2.2 Thí nghiệm xác định tỷ trọng hạt

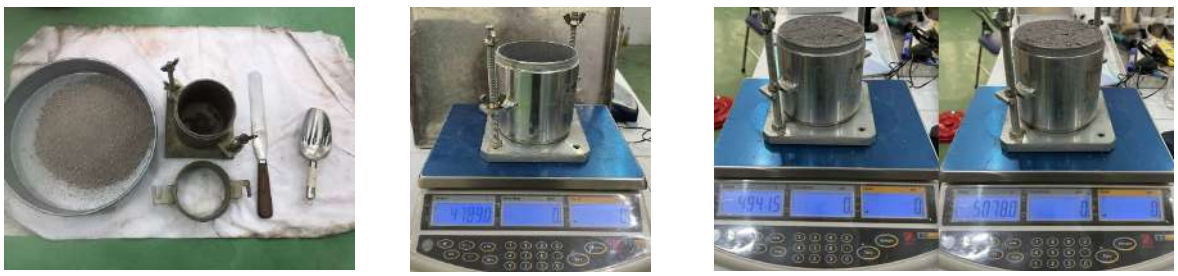
Thực hiện theo tiêu chuẩn quốc gia TCVN 4195:1995 về đất xây dựng - Phương pháp xác định khối lượng riêng trong phòng thí nghiệm.

a) *b)* *c)*

Hình 3. Thực hiện thí nghiệm xác định tỷ trọng hạt:
a) Quá trình đun để đẩy khí ra khỏi mẫu; b, c) Cân mẫu sau khi đun để nguội ở nhiệt độ phòng

2.2.3 Thí nghiệm xác định hệ số rỗng lớn nhất

Thực hiện theo Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 8721:2012 về đất xây dựng công trình thuỷ lợi - Phương pháp xác định khối lượng thể tích khô lớn nhất và nhỏ nhất của đất rời trong phòng thí nghiệm.



a) *b)* *c)* *d)*

Hình 4. Thực hiện thí nghiệm xác định hệ số rỗng lớn nhất:
a) Vật liệu, dụng cụ phục vụ thí nghiệm xác định hệ số rỗng;
b) Cân cối khi chưa có mẫu; c, d) Cân cối và mẫu

2.2.4 Thí nghiệm xác định độ ẩm tối ưu

Thực hiện theo Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 4201:2012 về đất xây dựng - Phương pháp xác định độ chặt tiêu chuẩn trong phòng thí nghiệm.

a) *b)* *c)*

Hình 5. Thực hiện thí nghiệm xác định độ ẩm tối ưu:
a) Dụng cụ thí nghiệm xác định độ ẩm tối ưu; b) Cân phần thân cối khi chưa có mẫu;
c) Cân phần thân cối và tro đáy sau khi đầm

2.2.5 Thí nghiệm chiết tách kim loại nặng

Các thí nghiệm chiết tách kim loại nặng từ mẫu tro đáy đã được thực hiện tại Phòng thử nghiệm VIMCERTS 269 (VILAS 1349). Quy trình thí nghiệm tuân thủ các phương pháp tiêu chuẩn của Cơ quan Bảo vệ Môi trường Hoa Kỳ (US EPA), trong đó phương pháp chiết chính là TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure - EPA Method 1311).

Kết quả nồng độ kim loại nặng trong dung dịch chiết được so sánh với ngưỡng nồng độ ngâm chiết quy định trong Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về ngưỡng chất thải nguy hại (QCVN 07:2009/BTNMT).

3. Kết quả và thảo luận

3.1 Đặc tính hóa học của tro đáy

Thí nghiệm chiết tách đặc tính độc hại (TCLP) được tiến hành với các mẫu tro đáy lấy tại nhà máy đốt rác của Công ty Cổ phần Quản lý công trình đô thị Hải Dương (NM1), nhà máy đốt rác của Công ty APT (NM2), nhà máy đốt rác của Công ty Minh Phúc (NM3). Kết quả được so sánh với ngưỡng nồng độ ngâm chiết trong Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về ngưỡng chất thải nguy hại (QCVN 07:2009/BTNMT), cụ thể trình bày trong Bảng 1. Nồng độ của tất cả các kim loại nặng được kiểm tra trong dung dịch chiết đều thấp hơn nhiều lần, thậm chí phần lớn ở mức không phát hiện thấy, so với giới hạn cho phép của QCVN 07:2009/BTNMT. Ví dụ, nồng độ Nicken (Ni) chỉ bằng khoảng 0,6-0,7% so với giới hạn cho phép, trong khi các kim loại độc hại khác như Chì (Pb), Cadmi (Cd) và Thủy ngân (Hg) đều không phát hiện thấy.

Bảng 1. *Kết quả phân tích nồng độ ngâm chiết các kim loại nặng từ mẫu tro đáy*

TT	Chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả			QCVN 07:2009/ BTNMT
			NM1	NM2	NM3	Nồng độ ngâm chiết (mg/l)
1	Asen (As)[(b)]	mg/L	KPHT (MDL=0,001)	KPHT (MDL=0,001)	KPHT (MDL=0,001)	**2**
2	Cadmi[(b)]	mg/L	KPHT (MDL=0,0006)	KPHT (MDL=0,0006)	KPHT (MDL=0,0006)	**0,5**
3	Chì[(b)]	mg/L	KPHT (MDL=0,0014)	KPHT (MDL=0,0014)	KPHT (MDL=0,0014)	**15**
4	Kẽm[(b)]	mg/L	0,134	0,086	0,134	**250**
5	Nicken[(b)]	mg/L	0,464	0,539	0,514	**70**
6	Thủy ngân[(b)]	mg/L	KPHT (MDL=0,0002)	KPHT (MDL=0,0002)	KPHT (MDL=0,0002)	**0,2**
7	Crom VI[(b)]	mg/L	KPHT (MDL=0,004)	KPHT (MDL=0,004)	KPHT (MDL=0,004)	**5**

Ghi chú: KPHT - không phát hiện thấy.

Kết quả này khẳng định rằng mẫu tro đáy từ nhà máy đốt rác thải sinh hoạt không phải là chất thải nguy hại. Đây là cơ sở vững chắc để đề xuất khả năng tái sử dụng loại vật liệu này một cách an toàn và bền vững. Vì vậy, nghiên cứu này đã tiến hành thí nghiệm xác định đặc trưng cơ lý của nó để xem xét khả năng ứng dụng trong xây dựng.

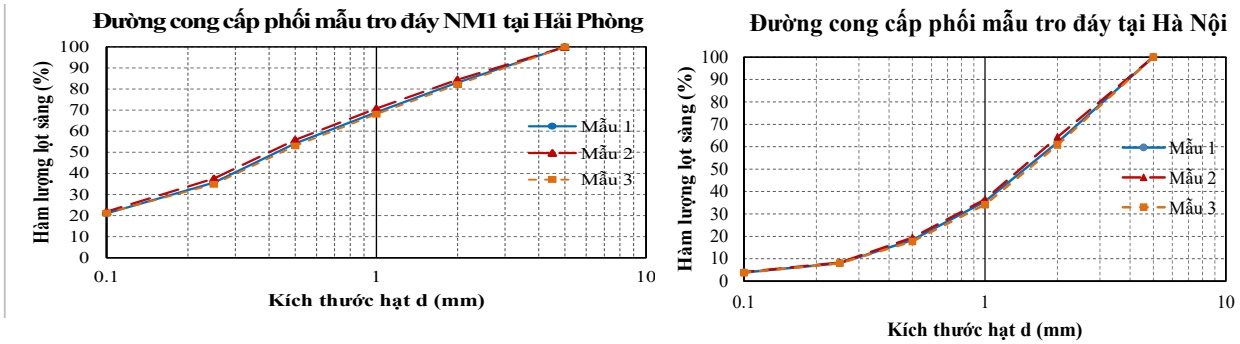
3.2 Đặc tính vật lý của tro đáy

Đối với nội dung nghiên cứu đặc tính vật lý và đầm chặt, trong phạm vi của nghiên cứu này, chỉ tập trung vào tro đáy được lấy từ nhà máy đốt rác của Công ty Cổ phần Quản lý công trình đô thị Hải Dương (Hải Phòng) và Nhà máy điện rác Sóc Sơn (Hà Nội).

3.2.1 Kết quả thí nghiệm xác định thành phần cấp phối hạt

Đường cong phân bố thành phần hạt của ba mẫu tro đáy được trình bày trên Hình 6. Từ biểu đồ này nhận thấy kết quả của ba thí nghiệm gần như đồng nhất, chứng tỏ sự giống nhau về thành phần hạt của ba mẫu thí nghiệm.

Kết quả phân tích thành phần hạt cho thấy sự khác biệt giữa hai nguồn tro đáy. Đối với mẫu cấp phối tro đáy tại Hải Phòng, đường cong tăng nhanh ở kích thước hạt nhỏ (< 1 mm) với hàm lượng lọt sàng tại cỡ sàng 2mm chiếm khoảng 85%, cho thấy thành phần hạt mịn chiếm tỷ lệ lớn. Đối với mẫu cấp phối tro đáy tại Hà Nội, đường cong tăng đều hơn, không dốc mạnh ở vùng hạt nhỏ, hàm lượng hạt mịn thấp hơn so với mẫu tại Hải Phòng. Từ số liệu đường cong cấp phối hạt, tính được hệ số đồng nhất (Cu) và hệ số đường cong (Cc): đối với mẫu tro đáy tại Hải Phòng là Cu= 14,63 và Cc= 1,12; đối với mẫu tro đáy tại Hà Nội là Cu= 7,51 và Cc= 1,42. Như vậy, theo Tiêu chuẩn Phân loại đất xây dựng TCVN 5747:1993 thì các mẫu tro đáy được xếp vào loại đất cát có cấp phối tốt (SW), cho thấy tiềm năng sử dụng để làm vật liệu san lấp, đắp nền.



Hình 6. Đường cong cấp phối tro đáy của nhà máy đốt rác thải sinh hoạt

3.2.2 Kết quả thí nghiệm xác định tỷ trọng hạt

Qua thí nghiệm, ta xác định được tỷ trọng hạt của tro đáy dao động trong khoảng từ 2,372 đến 2,541 (Bảng 2). Giá trị này tương đồng với các kết quả đã được công bố bởi Nguyễn Anh Tuấn và nnk. (2020), cho thấy sự phù hợp và nhất quán của dữ liệu thu được trong nghiên cứu này với các tài liệu tham khảo trước đó. Kết quả cho thấy tro đáy tại Hà Nội có tỷ trọng hạt cao hơn tro đáy tại Hải Phòng, phản ánh sự khác nhau về đặc điểm thành phần rác đầu vào, công nghệ lò đốt, cũng như quy trình xử lý sau đốt.

Bảng 2. *Kết quả thí nghiệm xác định tỉ trọng hạt của tro đáy nhà máy đốt rác thải sinh hoạt*

Nhà máy đốt rác tại Hải Phòng		Nhà máy đốt rác Hà Nội	
Mẫu	**Tỷ trọng hạt, Δ**	**Mẫu**	**Tỷ trọng hạt, Δ**
VH 1	2,32	SS 1	2,529
VH 2	2,31	SS 2	2,568
VH 3	2,37	SS 3	2,548
VH 4	2,49	SS 4	2,521
Giá trị trung bình	**2,372**		**2,541**

3.2.3 Kết quả thí nghiệm xác định hệ số rỗng lớn nhất

Kết quả 03 lần thí nghiệm xác định khối lượng thể tích khô nhỏ nhất được trình bày trong Bảng 3.

***Bảng 3**. Kết quả thí nghiệm xác định khối lượng thể tích khô nhỏ nhất, γ_{kmin}*

Lần thí nghiệm	Khối lượng thể tích tro đáy của nhà máy đốt rác (g/cm³)	
	Hải Phòng	Hà Nội
1	0,787	0,846
2	0,842	0,874
3	0,835	0,879
Giá trị trung bình, γ_{kmin} (g/cm³)	**0,821**	**0,866**

Kết quả ba lần thí nghiệm xác định khối lượng thể tích khô lớn nhất được trình bày trong Bảng 4.

***Bảng 4**. Kết quả thí nghiệm xác định khối lượng thể tích khô lớn nhất, γ_{kmax}*

Lần thí nghiệm	Khối lượng thể tích tro đáy của nhà máy đốt rác (g/cm³)	
	Hải Phòng	Hà Nội
1	0,952	0,994
2	0,930	0,976
3	0,941	1,004
Giá trị trung bình, γ_{kmax} (g/cm³)	**0,941**	**0,991**

Kết quả tính toán hệ số rỗng của tro đáy được thể hiện trong Bảng 5.

***Bảng 5**. Kết quả thí nghiệm xác định hệ số rỗng lớn nhất và nhỏ nhất*

STT	Hệ số rỗng	Mẫu tro đáy tại Hải Phòng	Mẫu tro đáy tại Hà Nội
1	e_{max}	2,313	1,934
2	e_{min}	1,521	1,564

Từ số liệu thu được, nhận thấy hệ số rỗng của tro đáy khá cao từ ($1{,}521 \le e_{\text{tro đáy}} \le 2{,}313$), trọng lượng riêng khô của tro đáy nhỏ ($0{,}821 \le \gamma_{k\ \text{tro đáy}} \le 0{,}991$), là loại vật liệu xốp, nhẹ; các hạt tro đáy có cấu trúc nhiều lỗ rỗng. Các lỗ rỗng này hình thành trong quá trình đốt rác thải sinh hoạt ở nhiệt độ cao. Sau khi đốt thu được lượng tro đáy với hàm lượng các thành phần hoá học khác nhau, do sự bốc hơi của nước có trong rác thải tạo nên các lỗ rỗng trên. So sánh với hệ số rỗng của cát ($0{,}55 < e_{cát} < 0{,}8$) và thành phần hạt tương đối đều hơn, tro đáy có ưu điểm là đa dạng thành phần hạt, các hạt nhỏ có thể lấp đầy chỗ trống giữa các thành phần hạt to. Tuy nhiên, do sự không đồng nhất về thành phần hạt, các hạt to chiếm khối lượng lớn nên các khe hở, lỗ trống cơ bản không được lấp đầy hoàn toàn tạo nên những lỗ rỗng, khiến cho tro đáy trở nên xốp, nhẹ hơn cát.

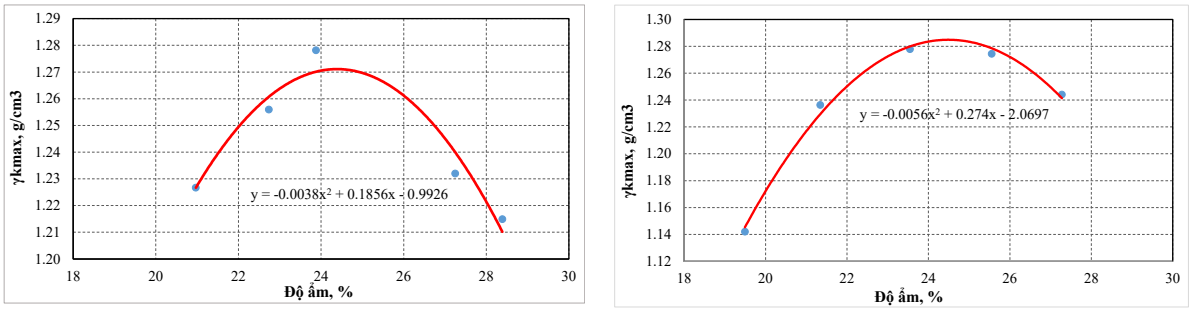
3.3 Đặc tính đầm chặt của tro đáy

Tiến hành thí nghiệm đầm nén tro đáy nhà máy đốt rác với các độ ẩm khác nhau (W=20%; 22%; 24%; 26%; 28%), các kết quả được thể hiện trong Bảng 6.

***Bảng 6**. Kết quả xác định độ ẩm tối ưu*

	Nhà máy đốt rác tại Hải Phòng		Nhà máy đốt rác tại Hà Nội	
TT	Độ ẩm trung bình (%)	Khối lượng thể tích khô của mẫu (g/cm³)	Độ ẩm trung bình (%)	Khối lượng thể tích khô của mẫu (g/cm³)
1	20,971	1,227	19,493	1,142
2	22,738	1,256	21,344	1,236
3	23,879	1,278	23,545	1,278
4	27,248	1,232	25,554	1,274
5	28,388	1,215	27,277	1,244

Kết quả nghiên cứu đặc tính đầm chặt (Hình 7) cho thấy, mẫu tro đáy tại Hải Phòng đạt khối lượng thể tích khô lớn nhất, $\gamma_{kmax} = 1{,}274$ g/cm³ tại độ ẩm tối ưu $W_{otp} = 24{,}42\%$; mẫu tro đáy tại Hà Nội đạt khối lượng thể tích khô lớn nhất, $\gamma_{kmax} = 1{,}282$ g/cm³ tại độ ẩm tối ưu $W_{otp} = 24{,}46\%$.



a) b)

Hình 7. Tương quan độ ẩm và khối lượng thể tích khô của tro đáy của nhà máy đốt rác: a) Mẫu tro đáy tại Hải Phòng; b) Mẫu tro đáy tại Hà Nội

4. Kết luận

Dựa trên các kết quả thí nghiệm và phân tích, một số kết luận chính được rút ra như sau:

Tro đáy lò đốt rác thải sinh hoạt lấy từ các nhà máy đốt rác tại Hải Phòng và Hà Nội có nồng độ kim loại nặng nằm dưới ngưỡng chất thải nguy hại theo QCVN 07:2009/BTNMT, khẳng định đặc tính an toàn cho môi trường.

Các mẫu tro đáy được xếp vào loại đất cát có cấp phối tốt (SW), cho thấy tiềm năng sử dụng để làm vật liệu san lấp, đắp nền.

Tro đáy có hệ số rỗng tương đối cao từ 1,521 đến 2,313, phản ánh cấu trúc rỗng xốp. Tuy nhiên, tro đáy có khả năng đầm nén tốt, đạt khối lượng thể tích khô lớn nhất là 1,274 ÷ 1,282 g/cm³ tại độ ẩm tối ưu khoảng 24,4% ÷ 24,5%, cho thấy tiềm năng sử dụng làm vật liệu đắp nền.

Các kết quả ban đầu khẳng định tro đáy có tiềm năng lớn để sử dụng làm vật liệu san lấp và đắp nền, góp phần giải quyết đồng thời bài toán xử lý chất thải rắn và bảo vệ tài nguyên thiên nhiên.

Lời cảm ơn

Đây là sản phẩm của Đề tài cấp tỉnh Hải Phòng, mã số KTCN.28.VKTCTDB.25-26. Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Sở KH&CN Hải Phòng, Công ty Cổ phần Quản lý công trình đô thị Hải Dương, Phòng Thí nghiệm Địa Kỹ thuật/Viện Kỹ thuật công trình đặc biệt đã hỗ trợ, giúp đỡ trong quá trình tiến hành nghiên cứu.

Tài liệu tham khảo

Arijeet K., Trisha D., Sivagami K., Mohammed C., Aabid S., Bandaru K. and Samarshi C., 2023. A comprehensive insight into Waste to Energy conversion strategies in India and its associated air pollution hazard. *Environmental Technology & Innovation, pp. 1-20*.

Cao Tiến Phú và Trương Đức Tiệp, 2021. Nghiên cứu sử dụng tro, xỉ lò đốt chất thải rắn sinh hoạt làm nguyên liệu sản xuất vật liệu xây dựng. *Tạp chí Vật liệu và Xây dựng*, 11(6), pp. 95-102.

Chen B., Perumal P., Aghabeyk F., Aderian A., Illikane M. and Ye G., 2024. Advances in using municipal solid waste incineration (MSWI) bottom ash as precursor for alkali-activated materials: A critical review. *Resources, Conservation and Recycling*, 204, pp. 1-21.

Chen J., Chen Z., Lin X., Li X. and Yan J., 2025. A systematic review of accelerated carbonation technology for municipal solid waste incineration fly ash: Carbon sequestration, reuse and heavy metal risk assessment. *Chemical Engineering Journal*, pp. 1-19.

Chen B. Y. and Lin K. L., 2006. Biotoxicity assessment on reusability of municipal solid waste incinerator (MSWI) ash. *Journal of hazardous materials*, 136(3), pp. 741-746.

Eurostat (Statistical Office of the European Communities), 2023. Municipal waste statistics.

Gupta G., Datta M., Ramana G.A.B.J. and Bishnoi S., 2021. Contaminants of concern (CoCs) pivotal in assessing the fate of MSW incineration bottom ash (MIBA): First results from India and analogy between several countries. *Waste Management*, 135, pp. 167-181.

Hoàng Văn Mạnh, Vũ Anh Tuấn, Phạm Đức Phong và Nguyễn Châu Lân, 2021. Nghiên cứu đặc tính chống cắt của tro xỉ lò đốt rác thải sinh hoạt bằng. *Hội nghị khoa học các nhà nghiên cứu trẻ Học viện KTQS năm 2021*, NXB QĐND ISBN: 978-604-51-7246-9, Hà Nội.

Huỳnh Thị Ngọc Hân, 2024. Thực trạng về chất thải rắn sinh hoạt và tiềm năng phát triển kinh tế tuần hoàn từ rác thải nhựa cho thành phố Hồ Chí Minh. *Tạp chí Môi trường, pp.2-11*.

Le N., Razakamanantsoa A., Nguyen M., Phan V., Đào P. and Nguyen D., 2018. Evaluation of physicochemical and hydromechanical properties of MSWI bottom ash for road construction. *Waste Management*, 80, pp. 168-174.

Lin C., Weng M. and Chang C., 2012. Effect of incinerator bottom-ash composition on the mechanical behavior of backfill material. *Journal of Environmental Management*, 113, pp. 377-382.

Lynn C., Ghataora G. and Ravindra K., 2017. Municipal incinerated bottom ash (MIBA) characteristics and potential for use in road pavements. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 10, pp. 185-201.

Muthuraja R., Chatpong N., Sunantha G., Chodchanok A., Nattaya M., Juckrit V. and Dao J., 2024. Assessment and classification of different ashes from waste incinerators in Thailand. *Results in Engineering*, 24, pp. 1-12.

Ngô Trà Mai and Bùi Quốc Lập, 2015. Nghiên cứu thành phần và đề xuất cách thức sử dụng tro xỉ từ lò đốt rác sinh hoạt phát điện. *Tạp chí Khoa học kỹ thuật thuỷ lợi và môi trường*, 48, 2015.

Nguyễn Anh Tuấn, Nguyễn Hải Hà và Nguyễn Châu Lân, 2020. Sức chống cắt của vật liệu tro xỉ từ nhà máy đốt rác bằng thí nghiệm cắt trực tiếp đường kính lớn. *Tạp chí Địa kỹ thuật*, 02, pp. 30-33.

Nguyễn Châu Lân, 2021. Nghiên cứu tro đáy từ nhà máy đốt rác thải sinh hoạt làm vật liệu xây dựng. *Đề tài Bộ GD&ĐT mã số B2019-GHA-10*.

Thanh Nga, 2024. Ưu tiên xử lý rác thải bằng công nghệ đốt phát điện. *Tạp chí điện tử Thiên nhiên và Môi trường*, *https://thiennhienmoitruong.vn/uu-tien-xu-ly-rac-thai-bang-cong-nghe-dot-phat-dien.html*.

United States Environmental Protection Agency (US EPA), 2022. National overview: facts and figures on materials, wastes and recycling. *https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/national-overview-facts-and-figures-mate*.

Vũ Ngọc Trụ, Tăng Văn Lâm, Hồ Anh Cương và Lại Ngọc Hùng, 2024. Nghiên cứu sử dụng tro bay và xỉ đáy lò của nhà máy điện rác Ngôi Sao Xanh để chế tạo bê tông cường độ cao trong điều kiện phòng thí nghiệm. *Tạp chí Vật liệu và Xây dựng*, 14(03), pp. 76-84.

Wang C.H, F. L., C. D.T, H. C.J and H. Y.T, 2024. Evaluating the strength characteristics of mixtures of municipal solid waste incineration bottom ash and reddish laterite clay for sustainable construction. *Heliyon*, 10, pp. 1-23.

Some Physical, Chemical, and Mechanical Properties of Municipal Solid Waste Incinerator Bottom Ash in Northern Provinces of Vietnam

Phung Dai Binh[1,2], Vu Anh Tuan[1*], Pham Duc Tiep[1], Pham Duc Phong[1], Bui Duc Thu[3]

[1]*Le Quy Don Technical University;*

[2]*Vietnam Army Corps of Engineers;*

[3]*Hai Duong Urban Works Management Joint Stock Company*

**Corresponding author: Email: vuanhtuan@mta.edu.vn*

Abstract

In current construction works, soil, rock, sand and products from them are still used as backfill material, which requires exploitation from soil and rock mines, rivers and streams, depleting soil and sand resources, causing many harmful effects on the ecological environment. The use of municipal incinerator bottom ash as a backfill material has not yet been officially applied in Vietnam. To meet the design and construction tasks when using municipal incinerator bottom ash as a backfill material requires specific research and evaluation on the physical, chemical and

mechanical properties of the bottom ash. The article presents the results of research on some physical, chemical and mechanical properties of bottom ash from municipal waste incinerator plants in Hai Phong and Hanoi cities. The experimental results show that the bottom ash collected from waste incineration plants in Hai Phong and Hanoi is not harmful to the environment; bottom ash is classified as well-graded sandy soil (SW); it has a relatively high void ratio from 1.521 to 2.313, indicating a porous structure. The bottom ash has good compactability with a maximum dry volume of 1.274 ÷ 1.282 g/cm³ at an optimal moisture content of about 24.4% ÷ 24.5%, showing the potential use as a backfill material.

Keywords: Incineration bottom ash; municipal solid waste; embankment material.

ỨNG DỤNG MÔ HÌNH SỐ PHẦN TỬ HỮU HẠN MÔ PHỎNG, DỰ BÁO DÒNG CHẢY VÀ DỊCH CHUYỂN KIM LOẠI NẶNG HOÀ TAN TRONG NƯỚC DƯỚI ĐẤT TẠI KHU VỰC CỒN CÁT VEN BIỂN BÌNH THUẬN

Trần Vũ Long[1,*], Nguyễn Văn Lâm[2], Đào Đức Bằng[2], Nguyễn Bách Thảo[1], Dương Thị Thanh Thuỷ[1], Trần Quang Tuấn[1], Vũ Thu Hiền[1]

[1]Trường Đại học Mỏ - Địa chất

[2]Hội Địa chất thuỷ văn Việt Nam

**Tác giả liên hệ: Email: tranvulong@humg.edu.vn*

Tóm tắt

Tài nguyên nước nhạt trong các khu vực cồn cát ven biển khá hạn chế và là nguồn nước chính cho các hoạt động dân sinh và kinh tế. Hiện này với tốc độ phát triển kinh tế nhanh chóng đã gia tăng áp lực cả về số lượng và chất lượng đối với nguồn nước này. Đặc điểm địa chất - địa chất thuỷ văn của cồn cát ven biển cũng là nguyên nhân khiến nguồn tài nguyên này dễ tổn thương với các ô nhiễm từ trên mặt đất. Nghiên cứu này trình bày việc sử dụng mô hình số phần tử hữu hạn kết hợp mô hình dịch chuyển hấp phụ mô phỏng, dự báo dòng chảy và dịch chuyển của kim loại nặng (Pb, Ni, Cd, Zn) trong đới bão hòa của tầng chứa nước dưới đất trầm tích trong khu vực cồn cát ven biển. Mô hình số được xây dựng tại khu vực cồn cát khu vực xã Tiến Thành - Phan Thiết - Bình Thuận với diện tích 128km^2. Nguồn ô nhiễm kim loại nặng tại đây chủ yếu xuất phát từ bãi rác Bình Tú. Mô hình cho phép dự báo khoảng cách, tốc độ, hướng dịch chuyển của các kim loại nặng trong tầng chứa nước. Kết quả mô hình mô phỏng dự báo tới năm 2.100 cho thấy các kim loại Ni, Zn, Cd và Pb có thể dịch chuyển với khoảng cách xa nhất sấp xỉ tương ứng 1,3km, 1,2km, 600m, 70m. Hướng dịch chuyển chủ yếu của các kim loại nặng là hướng Đông Bắc về phía biển.

***Từ khóa**:* Kim loại nặng; mô hình hóa; Bình Thuận; cồn cát ven biển.

1. Đặt vấn đề

Trong các khu vực cồn cát ven biển miền trung thường là nơi có nguồn tài nguyên nước nhạt hạn chế và rất quan trọng cho các hoạt động kinh tế - xã hội. Nguồn bổ cập cho nước nhạt tại khu vực này chủ yếu từ lượng mưa trong năm. Tuy nhiên, do đặc điểm địa chất - địa chất thuỷ văn khá điển hình dẫn đến nguồn tài nguyên nước nhạt này dễ bị tổn thương với các ô nhiễm từ trên mặt đất do các hoạt động kinh tế - xã hội. Các hoạt động chôn lấp chất thải rắn không được phân loại kỹ và kiểm soát lỏng lẻo làm giải phóng ra môi trường các chất ô nhiễm nói chung và kim loại nặng nói riêng. Khu vực nghiên cứu được lựa chọn là cồn cát ven biển xã Tiến Thành, huyện Phan Thiết, Bình Thuận nay là phường Tiến Thành, Bình Thuận. Tại khu vực này tồn tại bãi rác Bình Tú với quy mô 14,5ha và mới dừng hoạt động năm 2024. Bãi rác này nằm ngay trên tầng cát hạt mịn mầu đỏ, vàng da cam có tuổi Holocen và bên dưới là tầng cát hạt nhỏ đến trung có tuổi Pleistocen. Cấu trúc của bãi rác khá đơn giản, rác thải rắn các loại được đổ trực tiếp lên tầng cát mà không có lớp bảo vệ. Hàm lượng kim loại nặng trong nước rác phân tích được của 4 kim loại là Ni, Zn, Cd và Pb lần lượt là 0.204mg/L, 0.234mg/L, 0.005mg/L, 0.018mg/L. Nguy cơ ô nhiễm nói chung và kim loại nặng nói riêng tới nước dưới đất tại khu vực nghiên cứu là rất rõ ràng.

Các nghiên cứu khoa học của nhiều tác giả trên thế giới từ lâu đã rất quan tâm tới sự ô nhiễm nước dưới đất bởi các kim loại nặng. Nói chung, các kim loại nặng là vật chất kim loại có tỷ trọng lớn hơn 5, trong môi trường vật chất kim loại nặng này bao gồm: Ag, Cd, Cu, Hg, Fe, Mn, Zn… Kim loại hay hợp chất của chúng nói chung tương đối ổn định hơn các chất ô nhiễm khác, không dễ bị phân giải, làm sạch. Kim loại nặng trong môi trường, đặc biệt là trong nước, dịch chuyển và chuyển hóa bị khống chế bởi môi trường thuỷ hóa. Để dự báo quá trình dịch chuyển của các kim loại nặng trong nước dưới đất thì phương pháp mô hình số là phương pháp hiện đại và có nhiều ưu thế.

Về mô hình lan truyền các chất ô nhiễm nói chung và kim loại nặng nói riêng, trong lĩnh vực nước dưới đất có thể chia ra các phương pháp mô hình như có tính tới cơ chế đối lưu (advection), đối lưu và phân tán (advection - dispersion) đối với chất ô nhiễm trơ, đối với chất có xảy ra phản ứng hóa học hoặc sinh học. Trên thế giới để giải bài toán lan truyền các chất ô nhiễm trơ bởi cơ chế đối lưu và phân tán trong nước dưới đất được thực hiện chủ yếu bởi 2 phương pháp sai phân hữu hạn và phần tử hữu hạn. Một vấn đề khó khăn và phức tạp trong giải bài toán lan truyền chất ô nhiễm trong nước dưới đất bằng phương pháp số là do cơ chế đối lưu mạnh dẫn đến sai số lớn. Cox and Nishikawa (1991) giới thiệu sơ đồ khử sự biến đổi tổng cộng để giải quyết vấn đề sai số. Kandil et al. (1992) sử dụng sơ đồ do Westerink and Shea (1989) đề xuất để thực hiện mô hình lan truyền chất ô nhiễm trong mô hình một chiều. Chiang et al. (1989) phát triển mô hình dựa vào kỹ thuật đường đặc trưng liên kết với phần tử hữu hạn, Bentley and Pinder (1992) giới thiệu sử dụng phương pháp Eulerian - Lagrangian trong bài toán lan truyền các chất ô nhiễm trong nước dưới đất. Healy and Russell (1989) xây dựng phương pháp thể tích hữu hạn Eulerian - Lagrangian liên kết cục bộ để giải bài toán lan truyên chất ô nhiễm trong không gian một chiều cho độ chính xác cao hơn so với sai phân hữu hạn. Zeitoun and Pinder (1993) áp dung mô hình phần tử hữu hạn lan truyền các chất ô nhiễm trong môi trường vận tốc dòng chảy không đồng nhất. Galeati et al. (1992) giải bài toán lan truyền các chất ô nhiễm đối với bài toán phụ thuộc tỷ trọng nước.

Ngoài các mô hình lan truyền trên, kim loại nặng lan truyền trong nước dưới đất còn thể hiện một số đặc điểm liên quan đến hấp phụ bề mặt và ảnh hưởng bởi chính trầm tích mà các kim loại này lan truyền qua. Quá trình lan truyền của kim loại nặng này tuân theo mô hình hấp phụ đẳng nhiệt phi tuyến Freundlich (1906) và mô hình hấp phụ 2 thành phần đẳng nhiệt phi tuyến không cân bằng đề xuất bởi Selim et al. (1987) và Van Genuchten and Wagenet (1989). Các trầm tích và các kim loại nặng được nghiên cứu đã thể hiện rõ thông qua các thí nghiệm thấm cột trong phòng thí nghiệm (Long et al., 2024).

Ô nhiễm kim loại nặng trong môi trường đất và nước là vấn đề nghiêm trọng, tuy nhiên chưa được quan tâm nghiên cứu tương xứng. Trong nghiên cứu này, chúng tôi tập trung nghiên cứu dự báo dịch chuyển của 5 kim loại nặng (Pb, Ni, Cd, Zn) trong môi trường nước dưới đất bằng việc sử dụng mô hình số phần tử hữu hạn và mô hình hấp phụ đẳng nhiệt phi tuyến 2 thành phần. Các thông số mô phỏng dòng chảy và lan truyền kim loại nặng được lấy từ các kết quả thí nghiệm hiện trường cũng như trong phòng thí nghiệm (Long et al., 2024). Các kịch bản dự báo liên quan được sử dụng là kịch bản phát triển kinh tế xã hội và kịch bản BĐKH 2020 (MONRE, 2020).

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

2.1 Cơ sở lý thuyết mô hình dòng chảy nước dưới đất

Phương trình chi phối dòng chảy nước dưới đất trong điều kiện môi trường không đồng nhất và dị hướng, như sau:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_{xx}\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K_{yy}\frac{\partial h}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(K_{zz}\frac{\partial h}{\partial z}\right)-W=S_s\frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

Ở đây:

K_{xx}, K_{yy}, K_{zz} là các hệ số thấm theo phương x,y và z. Chiều z là chiều thẳng đứng.

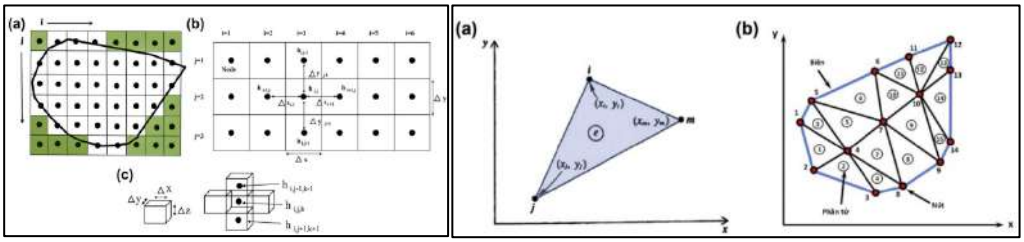
h là cốt cao mực nước ở vị trí (x,y,z) tại thời điểm t.

W là các giá trị bổ cập, khai thác ở vị trí (x,y,z) tại thời điểm t.

S_s là hệ số nhả nước.

Phương trình (1) cùng với các điều kiện biên, điều kiện ban đầu của TCN tạo thành một mô hình toán học về dòng chảy NDĐ.

Để giải phương trình trên, người ta phải tìm hàm số h (x, y, z, t), thoả mãn (1) và thoả mãn các điều kiện biên. Sự biến động của giá trị h theo thời gian sẽ xác định bản chất của dòng chảy, từ đó có thể tính được trữ lượng động của tầng nước cũng như tính toán các hướng của dòng chảy.



Hình 2. Lưới và ký hiệu sai phân hữu hạn và lưới và ký hiệu phần tử hữu hạn

Việc tìm ra hàm giải tích h (x, y, z, t) cho phương trình (1) thường là rất khó. Trên thực tế, ngoại trừ một số rất ít trường hợp, phương trình (1) là phương trình không thể giải được bằng phương pháp giải tích. Do đó người ta buộc phải giải bằng phương pháp gần đúng. Các phương pháp giải gần đúng ở đây được áp dụng cho bài toán này là phương pháp sai phân hữu hạn hoặc phương pháp phần tử hữu hạn. Trong phương pháp sai phân hữu hạn (SPHH), các nút được đặt trong không gian 3D bằng cách sử dụng các chỉ số (i, j, k) để gán các vị trí tương đối trong lưới hình chữ nhật. Trong phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH), vị trí của các nút được chỉ định bằng tọa độ không gian (x, y, z) trong một lưới.

Về mặt toán học, phương pháp PTHH phức tạp và khó giải quyết hơn phương pháp SPHH. Trong phương thức phần tử hữu hạn, vùng tính toán được chia thành các phần tử như Hình 1, được xác định bởi các nút. Biến phụ thuộc (mực nước) trong một phân tử được xác định bằng nội suy liên tục giá trị mực nước tại các nút. Điều đó trái ngược với phương pháp PTHH, khi mà giá trị mực nước được xác định tại mỗi phân từ và được coi là hằng số tuyến tính giữa các nút.

Phương pháp phần tử hữu hạn là tuyến tính liên tục, vì các phần tử riêng lẻ được nối dọc theo các cạnh. Rất nhiều hình dạng phần tử và vị trí nút là có thể tạo ra, mặc dù các phần tử phổ biến nhất là hình tam giác, và hình tứ giác. Các phần tử là hình dạng đường trong không gian một chiều 1D, là dạng các mặt phẳng trong không gian hai chiều 2D và là dạng đa giác thể tích trong không gian ba chiều 3D.

2.2 Cơ sở lý thuyết mô hình lan truyền kim loại nặng trong nước dưới đất hấp phụ 2 thành phần

Khái niệm về hấp phụ hai thành phần của Selim et al. (1987) và Van Genuchten and Wagenet (1989) xem xét các phản ứng hấp phụ - giải hấp phụ không cân bằng. Khái niệm hấp phụ hai thành phần giả định rằng các phía hấp phụ có thể được chia thành hai phần:

$$s_k = s_k^e + s_k^k \qquad k\ \varepsilon(1, n_s) \tag{2}$$

Phần loại 1 (s^e_k): Hấp phụ trên phần này được giả định là tức thì.

Phần loại 2 (s^k_k): Hấp phụ trên phần này được xem xét là phụ thuộc vào thời gian.

Trong trường hợp này, hấp phụ (s_k^e) trên một phần của các thành phần (các thành phần loại 1) được giả định là tức thì, trong khi hấp phụ (s_k^k) trên các thành phần còn lại (loại 2) được xem xét là phụ thuộc vào thời gian. Ở trạng thái cân bằng, chúng ta có:

$$s_k^e = f s_k \qquad k\ \varepsilon(1, n_s) \tag{3}$$

$$s_k^k = (1 - f) s_k \qquad k\ \varepsilon(1, n_s) \tag{4}$$

Ở đây, f là tỷ lệ của các thành phần trao đổi được giả định ở trạng thái cân bằng với pha dung dịch. Vì các thành phần hấp phụ loại 1 luôn ở trạng thái cân bằng, việc vi phân của phương trình (5) ngay lập tức cho ra tốc độ hấp phụ cho các thành phần cân bằng loại 1.

$$\frac{\partial s_k^e}{\partial t} = f \frac{\partial s_k}{\partial t} \qquad k\ \varepsilon(1, n_s) \tag{5}$$

Hấp phụ trên các thành phần không cân bằng loại 2 được giả định là quá trình tốc độ động học bậc nhất. Theo Toride et al. (1993), phương trình cân bằng khối lượng cho các thành phần loại 2 trong điều kiện có sự sản xuất và phân hủy được cho bởi:

$$\frac{\partial s^k}{\partial t} = \omega_k[(1-f)\frac{k_{s,k}c_k^{\beta_k}}{1+\eta_k c_k^{\beta_k}} - s^k] - (\mu_{s_k} + \mu_{i^s})s_k^k + (1-f)\gamma_{s,k} \qquad k\,\varepsilon(1,n_s) \qquad (6)$$

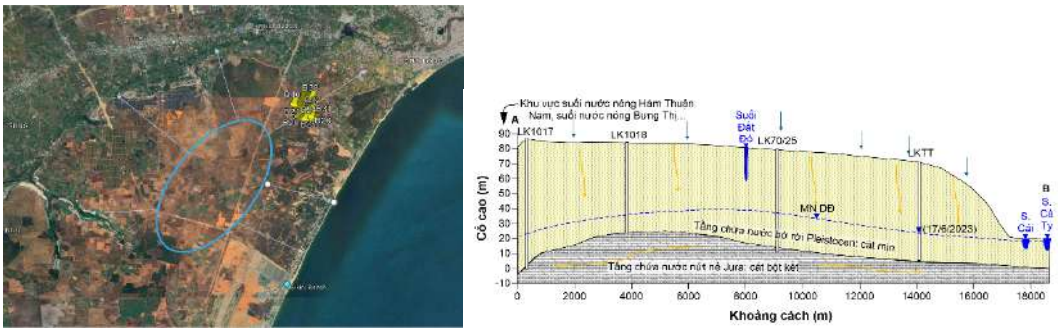
Trong đó: ω_k là tỷ lệ hằng số bậc 1 cho chất hoà tan k_{th} [T^{-1}]

2.3 Phương pháp nghiên cứu

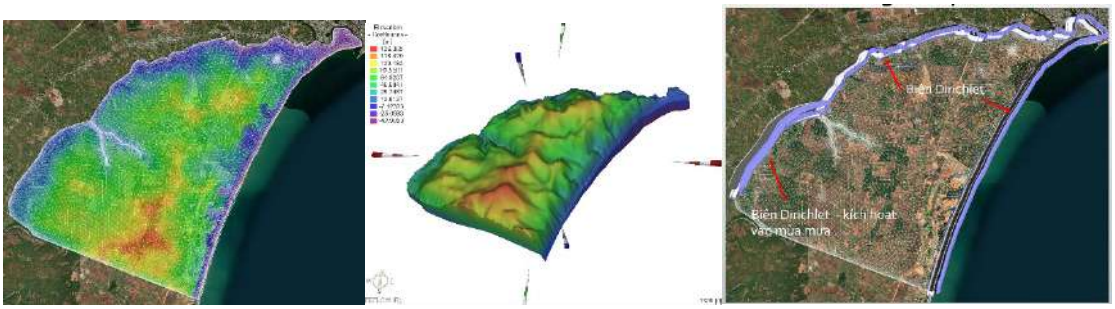
2.3.1 Xây dựng và chỉnh lý mô hình dòng chảy

Mô hình dòng chảy tại khu vực nghiên cứu được lựa chọn tại khu vực cồn cát phường Tiến Thành, Bình Thuận với diện tích 128km^2, phạm vi mô hình nằm trong khoảng 10^{0}55' - 10^{0}47' vĩ độ Bắc, 108^{0}06' - 107^{0}55' kinh độ Đông. Mô hình khái niệm được mô tả như sau: mô tả như sau: Nước mưa rơi xuống bề mặt khu vực nghiên cứu một phần trở thành nước chảy tràn, một phần bốc hơi và một phần ngấm vào TCN qh. Sau đó nước ngấm sẽ liên tục bổ cập thẳng đứng xuống tới mực nước ngầm. Tại đây dòng chảy ngầm với ảnh hưởng của gradient thuỷ lực sẽ làm nước chảy nằm ngang và thẳng đứng tới các vùng có mực nước thấp hơn. Cuối cùng nước thoát ra các biên mực nước.

Mô hình số được xây dựng sử dụng lưới phần tử hữu hạn xây dựng toàn bộ khu vực cồn cát. Mô hình bao gồm 3 lớp. Lớp 1 là tầng chứa nước trầm tích tuổi Holocen, lớp 2 là tầng chứa nước trầm tích tuổi Pleistocen, lớp 3 là tầng chứa nước nứt nẻ tuổi Neogen. Bề mặt địa hình và bề dày các lớp được nội suy sử dụng bản đồ địa hình và các tài liệu khoan trong khu vực nghiên cứu.



Hình 2. Mô hình khái niệm trên mặt bằng và mặt cắt

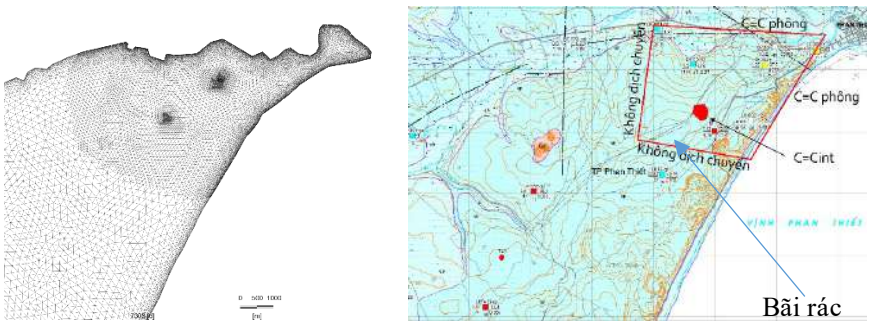


Hình 3. Mô hình số trên mặt bằng và mặt cắt và điều kiện biên

Điều kiện biên được xác định với biên biển ở phía Đông và biên sông ở phía Tây được gán biên mực nước không đổi (biên Dirichlet) và một phần được kích hoạt tuỳ thuộc vào mùa. Trên bề mặt là biên bổ cập và bốc hơi. Giá trị trên biên được lấy theo các tài liệu quan trắc khí tượng thuỷ văn trong khu vực. Giá trị ban đầu mực nước được nội suy dựa trên kết quả quan trắc mực nước trong khu vực. Các lỗ khoan của nhà máy nước Phan Thiết cũng được mô phỏng. Mô hình được chỉnh lý tin cậy với tài liệu quan trắc nước dưới đất tại khu vực trước khi được chuyển sang mô hình mô phỏng.

2.3.2 Xây dựng mô hình dịch chuyển kim loại nặng hoà tan

Mô hình dịch chuyển kim loại nặng hoà tan được xây dựng trên nền mô hình dòng chảy đã được xây dựng. Trên nền mô hình dòng chảy, lưới phần tử hữu hạn sẽ được làm dày hơn. Đặc biệt khu vực bãi rác Bình Tú.



Hình 4. Mô hình khái niệm dịch chuyển kim loại nặng hoà tan và lưới phần tử hữu hạn được làm dày

Trên mô hình, hàm lượng kim loại ban đầu trong mô hình được gán bằng hàm lượng môi trường trung bình trong các mẫu nước lấy trong quá trình khảo sát tại khu vực nghiên cứu. Hàm lượng kim loại nặng tại bãi rác được gán bằng với hàm lượng phân tích được trong mẫu nước rác lấy tại đây. Các biên nồng độ khác được giả định không đổi và bằng với hàm lượng môi trường.

Các thông số dịch chuyển được lấy dựa theo kết quả giải ngược từ các thí nghiệm thấm cột trong phòng thí nghiệm (Long et al., 2024). Các thông số dịch chuyển được đưa ra trong Bảng 1.

Bảng 1. *Tổng hợp các thông số dịch chuyển kim loại nặng hoà tan*

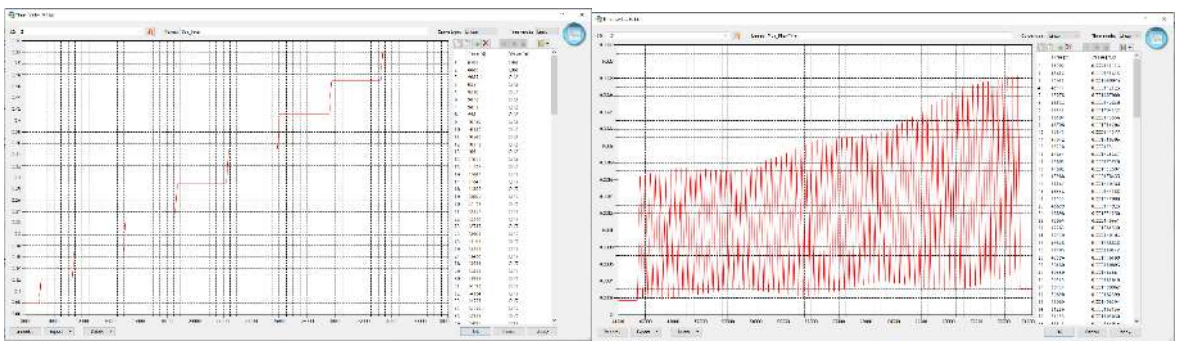
STT	Kim loại	α (cm)	D_L (cm^2/phút)	Frac	Kd (cm^3/g)	Beta (Freundlich exponent)	ω (1/Phút)
1	Cd	0.38	0.34	0.15	1.04	1.04	0.0054
2	Ni	0.34	0.35	0.35	0.39	1.07	0.0083
3	Zn	0.32	0.31	0.33	0.39	1.06	0.01
4	Pb	0.30	0.36	0.34	0.81	1.005	0.021

2.3.3 Xây dựng mô hình dự báo dịch chuyển kim loại nặng hoà tan

Mô hình dự báo được xây dựng dựa trên mô hình dịch chuyển đã xây dựng với 2 kịch bản được đặt ra.

Kịch bản 1 được lựa chọn dựa theo kịch bản BĐKH & NBD (MONRE, 2020) với kịch bản phát thải thấp RCP4.5. Các dữ liệu biên dự báo được ngoại suy theo kịch bản bao gồm lượng bổ cập, biên mực nước biển và biên sông theo các giai đoạn. Tỷ lệ tăng từ 16.6 - 21.8% đối với lượng mưa và 12 - 53cm đối với mực nước biển. Thời gian tính toán của kịch bản 1 là từ năm 2022 đến năm 2100.

Kịch bản 2 được lựa chọn là kịch bản phát triển kinh tế xã hội. Do nhu cầu sử dụng nước cho các mục đích khác nhau gia tăng theo thời gian vì vậy lượng khai thác nước của nhà máy nước Phan Thiết cũng được giả định tăng. Tỷ lệ tăng khai thác được giả định từ 120m^3/ngày tới 240m^3/ngày đối với mỗi lỗ khoan. Thời gian tính toán của kịch bản 2 là từ năm 2022 đến năm 2100.



Hình 5. Mực nước biển và lượng bổ cập dự báo theo kịch bản RCP4.5

Hàm lượng kim loại nặng ban đầu được gán trên toàn bộ diện tích của bãi rác, với giá trị bằng với giá trị hàm lượng kim loại nặng phân tích được trong nước rác.

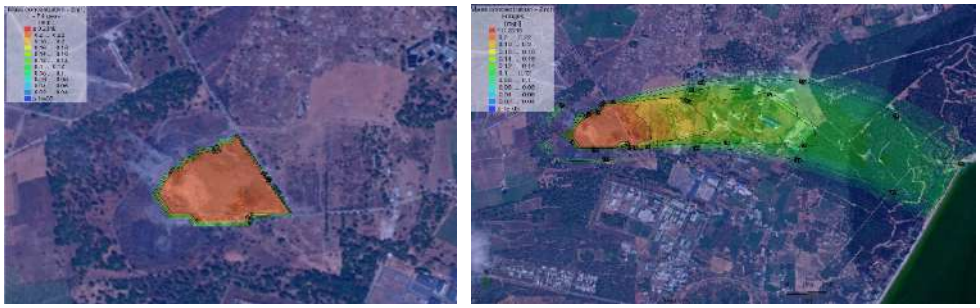
3. Kết quả và thảo luận

Kết quả mô phỏng dự báo tới năm 2100 đối với 4 kim loại nặng Cd, Ni, Zn, Pb được tính toán theo các kịch bản được đưa ra như hình bên dưới.

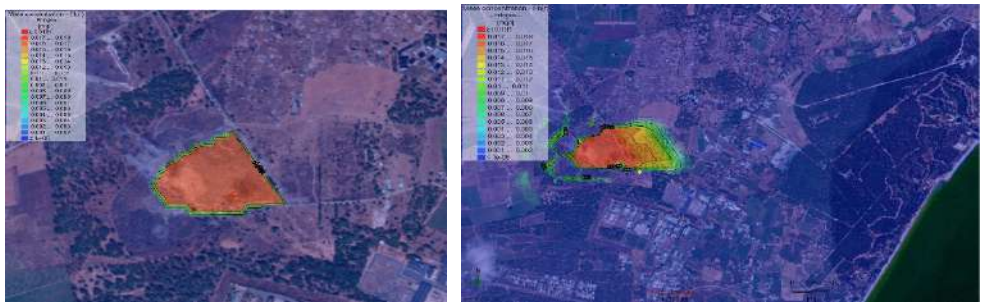
Tổng hợp kết quả dự báo đối với các kim loại theo các kịch bản được đưa ra trong bảng sau với giá trị bằng 50% hàm lượng ban đầu:

Năm / Kim loại		2025 (m)	2050 (m)	2075 (m)	2100 (m)
Ni	**KB1**	63	878	1002	1134
	KB2	70	930	1070	1240
Zn	**KB1**	66	894	1037	1165
	KB2	73	936	1090	1208
Cd	**KB1**	31	402	532	587
	KB2	45	450	570	605
Pb	**KB1**	7	47	58	62
	KB2	8	50	62	69

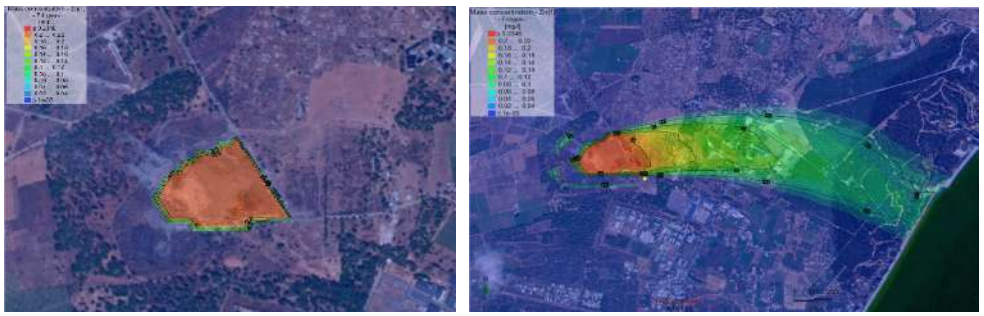
Kết quả dự báo thời gian dài trong khoảng gần 80 năm cho thấy tốc độ dịch chuyển của các kim loại khác nhau. Trung bình tốc độ dịch chuyển của Zn là lớn nhất, sau đó đến Ni, Cd và cuối cùng là Pb. Tới năm 2100, có 2 kim loại dịch chuyển tới biên biển là Zn và Ni với khoảng cách ~1.200m. Giữa 2 kịch bản dự báo không có nhiều khác biệt, chỉ 3 -10m. Kịch bản 2 cho thấy các kim loại nặng dịch chuyển nhanh hơn so với kịch bản 1.



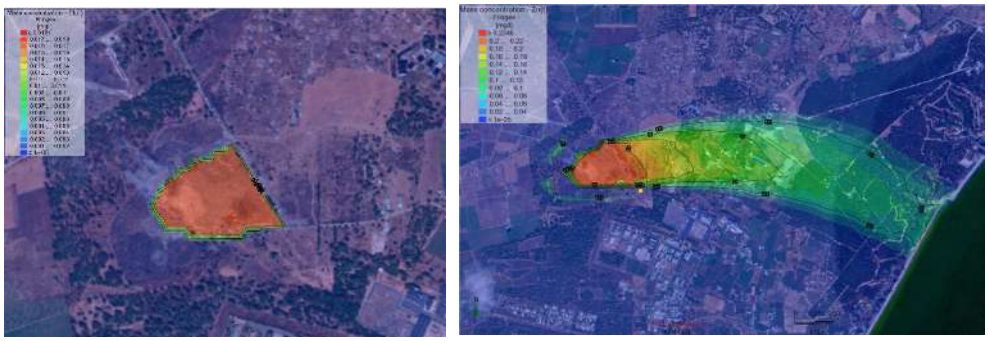
Hình 6. Hàm lượng kim loại Zn tính toán năm 2022 và năm 2100 trên bình đồ với kịch bản 1



Hình 7. Hàm lượng kim loại Pb tính toán năm 2022 và năm 2100 trên bình đồ với kịch bản 1



Hình 8. Hàm lượng kim loại Zn tính toán năm 2022 và năm 2100 trên bình đồ với kịch bản 2



Hình 9. Hàm lượng kim loại Pb tính toán năm 2022 và năm 2100 trên bình đồ với kịch bản 2

Kết quả dự báo cho thấy các kim loại có hướng vận động trùng với hướng chảy của nước dưới đất. Kịch bản 2 có ảnh hưởng tới hướng chảy của nước dưới đất tuy không nhiều và từ đó ảnh hưởng đến hướng dịch chuyển của các kim loại nặng. Trong mô hình, hướng dịch chuyển chủ yếu của kim loại nặng là hướng Đông - Đông Bắc từ khu vực bãi rác.

4. Kết luận

Qua quá trình mô phỏng và dự báo dịch chuyển kim loại nặng trong nước dưới đất cho thấy mô hình phần tử hữu hạn hoàn toàn phù hợp. Mô hình phần tử hữu hạn cho phép điều chỉnh, làm dày các nút lưới và gia tăng độ phân giải cũng như tăng khả năng hội tụ khi tính toán mô phỏng. Các phương trình hấp phụ được mô phỏng tốt và có khả năng tuỳ biến cao, phù hợp với không chỉ mô hình hấp phụ 2 thành phần không cân bằng và phi tuyến.

Kết quả dự báo cho thấy các kim loại nặng dịch chuyển trong nước dưới đất với tốc độ khác nhau. Nhanh nhất là kim loại Zn và chậm nhất là Pb. Tốc độ dịch chuyển có phụ thuộc vào cả các tham số dịch chuyển và nồng độ ban đầu. Chênh lệch giữa 2 kịch bản dự báo là không lớn, khoảng 3 - 30m, kịch bản 2 các kim loại dịch chuyển nhanh hơn so với kịch bản 1.

Kết quả dự báo còn cho thấy hướng dịch chuyển của kim loại chủ yếu phụ thuộc vào hướng vận động của nước dưới đất và được khống chế bởi chênh lệch mực nước dưới đất trong khu vực.

Lời cảm ơn

Báo cáo được hoàn thành dưới sự hỗ trợ của Đề tài khoa học mã số: ĐTĐLCN.86/21 với tên: "Nghiên cứu xác định một số thông số đặc trưng cho quá trình dịch chuyển vật chất trong đới bão hòa và không bão hòa nước để dự báo xâm nhập của một số kim loại nặng từ nguồn ô nhiễm vào các tầng chứa nước có thành tạo bở rời".

Tài liệu tham khảo

Bentley, L., & Pinder, G. (1992). Eulerian - Lagrangian solution of the vertically averaged groundwater transport equation. *Water Resources Research*, *28*(11), 3011-3020.

Chiang, C., Salanitro, J., Chai, E., Colthart, J., & Klein, C. (1989). Aerobic biodegradation of benzene, toluene, and xylene in a sandy aquifer—data analysis and computer modeling. *Groundwater*, *27*(6), 823-834.

Cox, R. A., & Nishikawa, T. (1991). A new total variation diminishing scheme for the solution of advective - dominant solute transport. *Water Resources Research*, *27*(10), 2645-2654.

Freundlich, H. (1906). Over the adsorption in solution. *J. Phys. Chem*, *57*(385471), 1100-1107.

Galeati, G., Gambolati, G., & Neuman, S. (1992). Coupled and partially coupled Eulerian - Lagrangian model of freshwater - seawater mixing. *Water Resources Research*, *28*(1), 149-165.

Healy, R., & Russell, T. (1989). Efficient implementation of the modified method of characteristics in finite-difference models of solute transport. Proc. 4th int. conf. on the use of models to analyze and find working solutions to groundwater problems,

Kandil, H., Miller, C. T., & Skaggs, R. W. (1992). Modeling long‐term solute transport in drained unsaturated zones. *Water Resources Research*, *28*(10), 2799-2809.

Long, T. V., Nhận, Đ. Đ., Lâm, N. V., Bằng, Đ. Đ., & Hiền, V. T. (2024). Xác định thông số dịch chuyển kim loại nặng từ thí nghiệm cột thấm không bão hoà bằng phương pháp mô hình số. Hội nghị Khoa học trái đất và tài nguyên với phát triển bền vững (ERSD 2024), Hà Nội.

MONRE. (2020). *Kịch bản biến đổi khí hậu, nước biển dâng cho Việt Nam*.

Selim, H., Schulin, R., & Flühler, H. (1987). Transport and ion exchange of calcium and magnesium in an aggregated soil. *Soil science society of America Journal*, *51*(4), 876-884.

Toride, N., Leij, F. J., & van Genuchten, M. T. (1993). A comprehensive set of analytical solutions for nonequilibrium solute transport with first‐order decay and zero‐order production. *Water Resources Research*, *29*(7), 2167-2182.

Van Genuchten, M. T., & Wagenet, R. (1989). Two‐site/two‐region models for pesticide transport and degradation: Theoretical development and analytical solutions. *Soil science society of America Journal*, *53*(5), 1303-1310.

Westerink, J., & Shea, D. (1989). Consistent higher degree Petrov-Galerkin methods for the solution of the transient convection-diffusion equation. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, *28*(5), 1077-1101.

Zeitoun, D. G., & Pinder, G. F. (1993). An optimal control least squares method for solving coupled flow‐transport systems. *Water Resources Research*, *29*(2), 217-227.

Numerical Simulation of Groundwater Flow and Heavy Metal Solute Transport in Coastal Sand Dunes Using a Finite Element Numerical Model: Evidence from Bình Thuận Province, Vietnam

Tran Vu Long[1,*], Nguyen Van Lam[2], Dao Duc Bang[2], Nguyen Bach Thao[1], Duong Thi Thanh Thuy[1], Tran Quang Tuan[1], Vu Thu Hien[1]

[1] *Hanoi University of Mining and Geolgy*

[2] *Vietnam Hydrogeological Association*

* *Corresponding author: Email: tranvulong@humg.edu.vn*

Abstract

Freshwater resources in coastal sand dune areas are limited yet serve as the primary water supply for domestic and economic activities. Rapid socio-economic development has imposed increasing pressures on both the quantity and quality of these resources, while the geological and hydrogeological characteristics of sand dunes make them highly vulnerable to contamination. This study applies a finite element numerical model coupled with an adsorption-transport model to simulate and predict groundwater flow and the transport of heavy metals (Pb, Ni, Cd, Zn) within the saturated zone of a sedimentary aquifer. The model was developed for the coastal sand dune system of Tiến Thành Commune, Phan Thiết City, Bình Thuận Province, covering 128 km², where the Bình Tú landfill represents the main source of heavy metal input. Simulation results projected to year 2100 reveal that Ni, Zn, Cd, and Pb may transport up to approximately 1.3 km, 1.2 km, 600 m, and 70 m, respectively, predominantly in a northeastward direction toward the sea. These findings highlight the vulnerability of coastal aquifers to surface-derived pollution and underscore the need for sustainable groundwater management in rapidly developing coastal regions.

Keywords: Heavy metal, Modelling, Binh Thuan, Coastal sand dune.

ĐÁNH GIÁ HIỆN TRẠNG KHAI THÁC TÀI NGUYÊN NƯỚC DƯỚI ĐẤT KHU VỰC ĐĂK NÔNG

Trần Thị Thanh Thủy[1,*], Trần Thị Kim Hà[1]

[1]Trường Đại học Mỏ - Địa chất

**Tác giả liên hệ: Email: tranthithanhthuy@humg.edu.vn*

Tóm tắt

Tài nguyên nước dưới đất khu vực Đắk Nông đóng vai trò quan trọng trong đời sống, kinh tế - xã hội của địa phương. Tuy nhiên, hiện nay nguồn tài nguyên này đang đứng trước nguy cơ suy thoái, cạn kiệt đặc biệt vào mùa khô, tại vùng Krông Nô, Cư Jút, Đắk Song. Bằng phương pháp thu thập tài liệu, thống kê, khảo sát thực địa, nghiên cứu đã đánh giá được hiện trạng khai thác nước dưới đất của khu vực, trong đó tầng chứa nước khe nứt - lỗ hổng phun trào Bazan là tầng khai thác nước chính với lưu lượng khoảng 10.609,3 m^3/ngđ, chiếm 55,23% tổng lưu lượng khai thác. Tiếp đến là tầng chứa nước Jura dưới - giữa (j_{1-2}) với lưu lượng khai thác là 8.542,9 m^3/ngđ, chiếm 44,47% tổng lưu lượng khai thác. Lưu lượng khai thác ở tầng chứa nước Holocen (qh) thấp nhất, khoảng 56,2 m^3/ngđ, chiếm 0,3% tổng lưu lượng khai thác. Tổng lưu lượng khai thác nước dưới đất trong khu vực tại 4.873 công trình lỗ khoan/giếng khai thác là 19.208,4 m^3/ng. Trong đó, khu vực khai thác lớn nhất là ở Cư Jút, với tổng số 770 công trình, tổng lưu lượng khai thác 6.056,9 m^3/ng, chiếm tỷ lệ 31,5% và khu vực khai thác ít nhất là vùng Gia Nghĩa với 272 công trình, tổng lưu lượng là 544,5 m^3/ng, chiếm 2,8%. Nghiên cứu cũng đã đánh giá được hiện trạng công tác quản lý khai thác, sử dụng nước dưới đất của khu vực và đề xuất các biện pháp bảo vệ để đảm bảo phục vụ đời sống dân sinh và phát triển kinh tế - xã hội cho địa phương trong đó tập trung quy hoạch 9 vùng cấm và 20 vùng hạn chế khai thác nước dưới đất, kiểm soát xả thải và tuân thủ các quy định về cấp phép khai thác nước dưới đất tại địa phương.

Từ khóa: Tài nguyên; nước dưới đất; khai thác; Đăk Nông.

1. Đặt vấn đề

Đắk Nông nằm ở cửa ngõ phía Nam của Tây Nguyên, với địa hình là các dải núi dọc theo các sông suối, khe tụ thuỷ. Bề mặt địa hình bao gồm các núi cao hùng vĩ, hiểm trở nối với các cao nguyên rộng lớn, thoải, lượn sóng, bề mặt khá bằng phẳng xen kẽ các dải đồng bằng thấp trũng dọc theo các sông chính. Đắk Nông có chế độ khí hậu nhiệt đới gió mùa cận xích đạo, mỗi năm có 2 mùa rõ rệt: mùa mưa từ tháng 5 đến hết tháng 10, tập trung lượng mưa cả năm; mùa khô từ tháng 11 đến hết tháng 4 năm sau, lượng mưa khoảng 5%. Khu vực có điều kiện thuận lợi để phát triển các ngành kinh tế mũi nhọn, đặc biệt là trồng và chế biến nông sản, cây công nghiệp, khai thác và chế biến khoáng sản. Hiện nay, cùng với sự gia tăng dân số và phát triển công nghiệp, nông nghiệp, dịch vụ… khiến nhu cầu khai thác, sử dụng nước ngày càng gia tăng. Theo khảo sát cho thấy, ngoài nguồn nước mặt thì một lượng lớn nước dưới đất đã và đang được khai thác để phục vụ cấp nước tại địa phương. Điều này đã làm nảy sinh và tiềm ẩn nhiều nguy cơ hạ thấp mực nước, gây ô nhiễm, cạn kiệt nguồn nước… và còn ảnh hưởng đến nhu cầu cấp nước cho sản xuất nông nghiệp và các ngành kinh tế của địa phương. Ngoài ra, theo báo cáo quan trắc môi trường định kì của tỉnh ghi nhận một số vị trí ô nhiễm As, Fe, Coliform... gây ảnh hưởng đến chất lượng nước dưới đất *(Sở Tài nguyên và Môi trường Đắk Nông, 2024)*. Do đó, việc đánh giá hiện trạng quản lý, khai thác nước dưới đất của Đắk Nông là cần thiết giúp bảo vệ nguồn tài nguyên nước hướng tới phát triển bền vững kinh tế - xã hội của địa phương.

2. Phương pháp nghiên cứu

Để thực hiện đánh giá hiện trạng quản lý, khai thác nước dưới đất ở khu vực Đắk Nông, nghiên cứu đã sử dụng các phương pháp bao gồm:

2.1 Phương pháp thu thập, tổng hợp số liệu, tài liệu

Nghiên cứu đã thu thập, tổng hợp các số liệu về đặc trưng các tầng chứa nước dưới đất khu vực, hiện trạng các nguồn khai thác nước hiện nay cùng các hồ sơ cấp phép khai thác từ Sở Tài nguyên và Môi trường, Sở Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn, Sở Công thương, Trung tâm nước sạch vệ sinh môi trường, các công ty cấp nước tỉnh Đắk Nông, Đài khí tượng thủy văn khu vực Tây Nguyên và một số tài liệu được lưu trữ tại Liên đoàn Quy hoạch và Điều tra tài nguyên nước miền Trung. Kết quả thu thập được phân tích, đánh giá cụ thể để đưa ra định hướng và các giải pháp quản lý tài nguyên nước dưới đất cho hiện tại và tương lai.

2.2 Phương pháp khảo sát thực địa, tham vấn cộng đồng

Điều tra, khảo sát thực địa, tham vấn cộng đồng để thu thập các thông tin, dữ liệu về hiện trạng khai thác nước dưới đất cùng thực trạng công tác quản lý đang triển khai tại địa phương. Nghiên cứu đã thực hiện tham vấn tại các đơn vị quản lý khai thác nước cùng các hộ dân trực tiếp khai thác, sử dụng nước. Thực hiện quan trắc mực nước, đo nhanh hiện trường để đánh giá chất lượng nước dưới đất khu vực nghiên cứu. Công tác quan trắc mực nước được thực hiện trong các lỗ khoan sau khi đã kết thúc công tác bơm hút nước thí nghiệm và tuân thủ theo Quy định kỹ thuật quan trắc tài nguyên nước dưới đất ban hành kèm theo Thông tư số 19/2013/TT-BTNMT ngày 18/7/2013. Ngoài ra, thực hiện khảo sát, đánh giá những thuận lợi, khó khăn trong công tác quản lý tài nguyên nước dưới đất hiện nay để đề xuất các giải pháp phù hợp cho hiện tại và tương lai để bảo vệ tài nguyên nước tại địa phương.

2.3 Phương pháp tổng hợp, xử lý số liệu

Thực hiện rà soát, phân loại, đánh giá độ tin cậy của các thông tin, dữ liệu đã thu thập, điều tra và lựa chọn. Tổng hợp các thông tin, dữ liệu đã thu thập cùng kết quả điều tra, khảo sát thực địa để đánh giá hiện trạng quản lý khai thác, sử dụng nước dưới đất tại khu vực nghiên cứu. Các kết quả được xử lý, xây dựng theo các biểu, bảng, đồ thị so sánh để đưa ra đánh giá về đặc điểm khai thác nước dưới đất khu vực nghiên cứu và đề xuất giải pháp quản lý phù hợp.

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1 Đặc trưng các tầng chứa nước ở Đăk Nông

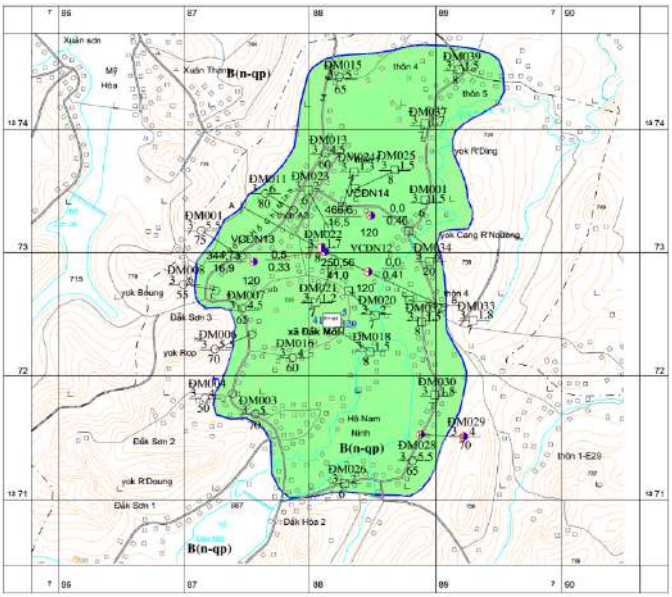
Nước dưới đất trên địa bàn tỉnh Đắk Nông chủ yếu tồn tại trong tầng chứa nước (TCN) lỗ hổng trầm tích Holocen; TCN khe nứt - lỗ hổng phun trào Bazan và TCN khe nứt trầm tích Jura *(Trung tâm quy hoạch điều tra tài nguyên nước quốc gia, 2020)*. Trong đó:

- *Nước tồn tại trong các lỗ hổng:* phân bố trong các thành tạo bở rời Holocen (qh), nước được chứa và vận động trong các lỗ hổng giữa các hạt đất đá. Nước vận động và tàng trữ trong tầng thuộc dạng không áp, nước thường có chất lượng tốt, thuộc loại nước nhạt đảm bảo tiêu chuẩn để sử dụng cho ăn uống sinh hoạt. Động thái tầng chứa nước thay đổi theo mùa, nguồn cấp nước là nước mưa và nước mặt thấm xuống.

- *Nước tồn tại trong khe nứt - lỗ hổng phun trào:* phân bố trong thành tạo đá liên kết cứng bị nứt nẻ và lỗ hổng - phun trào Bazan Pleistocen (βqp); Bazan Pliocen - Pleistocen β(n_2-qp); khe nứt trầm tích Jura dưới - giữa (j_{1-2}), nước được chứa và vận động trong các khe nứt. Thành phần đất đá gồm bazan phong hóa hoàn toàn, bazan phong hóa dở dang, bazan chưa bị phong hóa có cấu tạo đặc sít, xen lẫn lỗ hổng, nứt nẻ không đều. Nước vận động và tàng trữ trong tầng thuộc dạng không áp hoặc áp lực yếu. Nước thường có chất lượng tốt, thuộc loại nước nhạt đảm bảo tiêu chuẩn để sử dụng cho ăn uống sinh hoạt. Động thái nước thay đổi theo mùa; lưu lượng các điểm lộ cũng thay đổi phụ thuộc các yếu tố khí tượng thủy văn. Nguồn cung cấp là nước mưa thấm xuống, nước mặt ngấm vào từ các sông, hồ và nước thấm xuyên từ các tầng chứa nước liền kề. Nguồn thoát là các mạng xâm thực, bốc hơi, ngấm xuống tầng nằm dưới và khai thác sử dụng nước.

Theo kết quả thu thập, điều tra, khảo sát thực địa cho thấy TCN khe nứt - lỗ hổng phun trào Bazan là đối tượng đóng vai trò chủ đạo cung cấp nước trên địa bàn tỉnh, tiếp đến là TCN khe nứt

trầm tích Jura và TCN lỗ hổng các trầm tích Holocen. Mặt khác, theo điều tra cũng cho thấy hiện nay, ở phía Tây và phía Bắc của Đắk Nông nguồn nước mặt chưa đảm bảo được hoàn toàn nhu cầu sử dụng của người dân địa phương nên nguồn nước dưới đất vẫn đóng vai trò rất quan trọng để đảm bảo đời sống và nhu cầu phát triển kinh tế - xã hội của địa phương. Cụ thể, các khu vực Krông Nô, Cư Jút, Đắk Song bị thiếu hụt nguồn nước dưới đất, không đủ nguồn nước đầu vào để xử lý cấp nước cho người dân trong khu vực. Tất cả những điều này làm tăng nguy cơ mất cân bằng giữa nhu cầu sử dụng nước và mức độ đáp ứng, đặt các tầng chứa nước (Holocen, Bazan, Jura) trước nguy cơ bị khai thác quá mức, dẫn đến sự suy giảm trữ lượng và chất lượng nước. Kết quả khảo sát cũng cho thấy nước dưới đất tại một số khu vực như Đắk Mil, Cư Jút có sự suy giảm mực nước có liên quan đến hoạt động khai thác *(Văn Tâm, 2015)*. Do đó, cần có những biện pháp nhằm khai thác hợp lý và bảo vệ hiệu quả các tầng chứa nước của vùng nghiên cứu, đề xuất biện pháp quản lý, phương án hiệu quả để bảo vệ, phân bổ hợp lý nguồn tài nguyên nước dưới đất trên địa bàn khu vực Đắk Nông.



I. CÁC TẦNG CHỨA NƯỚC VÀ TRỮ LƯỢNG KHAI THÁC TIỀM NĂNG

I.1. Vùng có khả năng khai thác (Md ≥ 1,0m³/ngày /km²)

Tầng chứa nước					Khả năng khai thác (Md - m³/ngày /km²)				
Phân bố	Dạng tồn tại	Tên	Ký hiệu	Diện tích (km²)	Rất nghèo <100	Nghèo 100 -200	Trung bình 200 -500	Giàu 500 -1000	Rất giàu ≥1000
Trên mặt	Khe nứt	Pliocen	B(n-qp)	48,16					

Hình 1. Bản đồ tài nguyên nước khu vực Đắc Mol, Đắk Song.
(Trung tâm quy hoạch điều tra tài nguyên nước quốc gia, 2020)

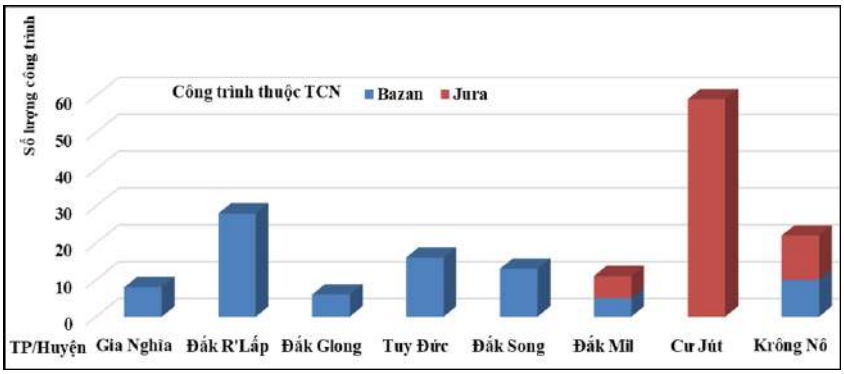
3.2 Hiện trạng khai thác nước dưới đất ở vùng Đăk Nông

Căn cứ trên kết quả tổng hợp từ Dự án "Quy hoạch tài nguyên nước tỉnh Đắk Nông giai đoạn 2015 đến năm 2025, định hướng đến năm 2035" *(Sở Tài nguyên và Môi trường Đắk Nông, 2018)* và tài liệu thu thập giấy phép khai thác, sử dụng nước dưới đất từ Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Đắk Nông cho thấy toàn tỉnh có tổng số 4.873 công trình lỗ khoan/giếng khai thác nước dưới đất, với tổng lưu lượng khai thác là 19.208,4 m^3/ng. Khu vực khai thác lớn nhất là huyện Cư Jút có tổng số 770 công trình, với tổng lưu lượng khai thác 6.056,9 m^3/ng, chiếm tỷ lệ 31,5% tổng lưu lượng khai thác. Ít nhất là khu vực là khu vực TP. Gia Nghĩa có tổng số 272 công trình, khai thác với tổng lưu lượng 544,5 m^3/ng, chiếm 2,8%. Đắk Nông có 2 loại hình khai thác nước dưới đất chính, gồm:

+ *Công trình có lưu lượng $Q \geq 10\ m^3$/ngđ:* tầng chứa nước đang được khai thác, sử dụng chính là tầng chứa nước Bazan Pliocen - Pleistocen β (n-qp), với lưu lượng khai thác là 10.609,3 m^3/ngđ,

chiếm 55,23% tổng lưu lượng khai thác, tiếp theo là tầng chứa nước Jura dưới - giữa (j_{1-2}) với lưu lượng khai thác là 8.542,9 m^3/ngđ, chiếm 44,47% tổng lưu lượng khai thác. Tầng chứa nước Holocen (qh) được khai thác với lưu lượng rất nhỏ, khoảng 56,2 m^3/ngđ, chiếm 0,3% tổng lưu lượng khai thác.

Theo thống kê cũng cho thấy các công trình khai thác nước dưới đất có lưu lượng Q ≥ 10 m^3/ngđ chủ yếu thuộc các trạm cấp nước tập trung nông thôn và các công trình được cấp phép khai thác, sử dụng nước dưới đất của các doanh nghiệp, hộ kinh doanh, với tổng số 163 công trình đang hoạt động gồm 69 công trình cấp phép của các doanh nghiệp, hộ kinh doanh và 94 công trình thuộc mạng lưới cấp nước tập trung nông thôn.



Hình 1. Hiện trạng các công trình khai thác với Q ≥ 10 m^3/ngđ (Nguyễn Ton và nnk, 2020)

+ *Công trình có Q < 10 m^3/ngđ:* theo thống kê hiện có 4.710 giếng khai thác có lưu lượng < 10 m^3/ngđ với tổng lưu lượng khai thác là 5.399,1 m^3/ngđ *(Nguyễn Ton và nnk, 2020)*. Đây là các công trình khai thác nước của người dân, phục vụ chủ yếu cho nhu cầu sinh hoạt, chăn nuôi và hoạt động tưới tiêu của người dân.

Ngoài, ra theo kết quả thu thập và khảo sát thực địa cho thấy, nước dưới đất tại địa phương chủ yếu được khai thác sử dụng phục vụ cho mục đích sinh hoạt, sản xuất, chăn nuôi và tưới. Trong đó, nước dưới đất được khai thác phục vụ cho cấp nước sinh hoạt là lớn nhất với lưu lượng khai thác 11.114,1 m^3/ngđ, chiếm 57,86% tổng lưu lượng khai thác. Tiếp theo nước dưới đất được khai thác phục vụ cho mục đích sản xuất, chăn nuôi với lưu lượng khai thác 7.600,4 m^3/ngđ, chiếm 39,57% tổng lưu lượng khai thác. Chi tiết về số lượng công trình, lưu lượng khai thác theo mục đích sử dụng được tổng hợp trong Bảng 1.

Bảng 1. *Tổng hợp số lượng, lưu lượng khai thác theo mục đích sử dụng*
(Trung tâm quy hoạch điều tra tài nguyên nước quốc gia, 2020; Nguyễn Ton và nnk, 2020)

TT	Đơn vị hành chính	Số công trình	Lưu lượng (m^3/ngđ)	Mục đích sử dụng nước dưới đất					
				Sinh hoạt		Sản xuất,chăn nuôi		Tưới	
				Số công trình	Lưu lượng (m^3/ngđ)	Số công trình	Lưu lượng (m^3/ngđ)	Số công trình	Lưu lượng (m^3/ngđ)
1	Gia Nghĩa	272	544,5	242	432	4	68	26	44,5
2	Đắk R'Lấp	695	2.780	465	2.071,2	10	496,4	220	212,4
3	Đắk Glong	475	1.741,9	464	836,9	3	860	8	45
4	Tuy Đức	489	1.913,1	446	1.093,2	9	771	34	48,9
5	Đắk Song	714	1.401,3	704	1.192,3	8	203	2	6
6	Đắk Mil	746	1.532	734	1.469	3	43	9	20
7	Cư Jút	770	6.056,9	679	2.052,3	43	3904	48	100,6
8	Krông Nô	712	3.238,7	695	1.967,2	6	1255	11	16,5
Tổng		**4.873**	**19.208,4**	**4.429**	**11.114,1**	**86**	**7.600,4**	**358**	**493,9**

Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy nguồn nước dưới đất khai thác, sử dụng cho địa phương có chất lượng tương đối tốt. Trong đó, đối với TCN Holocen, có 19 thông số gồm TDS, độ cứng, NH_4^+, NO_2^-, NO_3^-, Cl^-, F^-, SO_4^2, As, Cd, Pb, Cr, Cu, Zn, Hg, E. Coli nằm trong QCCP theo QCVN 09:2023/BTNMT. Riêng thông số pH, Fe và Coliform vượt quy chuẩn ở một vài vị trí quan trắc, phân bố tại xã Quảng Phú, Krông Nô và xã Đắk Drông, Cư Jút. Tầng chứa nước này thường chỉ có thể khai thác cấp nước quy mô nhỏ, đơn lẻ và cần có các biện pháp xử lý đơn giản quy mô hộ gia đình như hệ thống lắng, lọc trước khi đưa vào sử dụng.

Đối với tầng chứa nước bazan, kết quả khảo sát, phân tích mẫu cũng cho thấy nước trong, thuộc loại nước nhạt, có 21 thông số gồm TDS, độ cứng, NO_2^-, NO_3^-, Cl^-, F, SO_4^{2-}, As, Cd, Cr, Cu, Zn, Mn, Hg, Fe nằm trong QCVN 09:2023/BTNMT, chỉ có giá trị pH, NH_4^+-N, Pb, Phenol, Coliform, E.coli vượt QCCP ở một số vị trí, phân bố chủ yếu tại khu vực TP Gia Nghĩa, Đắk G'Long, Nâm N'Jang và xã Đắk Lao. Còn nước trong tầng chứa nước Jura ($j_{1\text{-}2}$) thuộc loại nước nhạt với 20 thông số gồm: pH, TDS, độ cứng, NH_4^+, NO_2^-, NO_3^-, Cl, F^-, SO_4^2… không vượt QCCP theo QCVN 09:2023/BTNMT, chỉ có một vài vị trí tại khu vực Trúc Sơn, khu vực TT. Đắk Mâm, huyện Krông Nô có chỉ tiêu Fe và Coliform vượt quy chuẩn.

3.3 Hiện trạng quản lý nước dưới đất vùng Đăk Nông

Hiện nay, đối với các công trình khai thác, sử dụng nước dưới đất do các doanh nghiệp, Công ty hoặc Trung tâm Nước sinh hoạt & Vệ sinh Môi trường nông thôn trực tiếp quản lý, công trình hoạt động bền vững, chất lượng khá tốt, chất lượng nguồn nước ổn định, thường xuyên được định kỳ kiểm tra, nâng cấp và sửa chữa. Nhìn chung, các công trình này mang lại hiệu quả cao trong việc khai thác, sử dụng nguồn nước dưới đất. Theo thống kê tại 69 công trình thuộc sở hữu của các doanh nghiệp, hộ kinh doanh cho thấy lưu lượng khai thác nước thường trên 10 m^3/ngđ và được cấp phép khai thác sử dụng có thời hạn từ 5 ÷ 10 năm. Từ kết quả thu thập trong các "Báo cáo định kỳ hàng năm trong quá trình khai thác, sử dụng nước dưới đất" cho thấy các công trình được vận hành khai thác tốt, các thông tin lưu lượng khai thác, mực nước trong quá trình khai thác và lấy mẫu phân tích chất lượng nước định kỳ được các doanh nghiệp tuân thủ thực hiện và báo cáo về Sở Tài nguyên và Môi trường hàng năm *(Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Đắk Nông, 2023)*. Ngoài ra, đối với các công trình thuộc mạng lưới cấp nước tập trung nông thôn, trên địa bàn tỉnh có 255 công trình cấp nước sinh hoạt tập trung nông thôn, trong đó có 94 công trình đang hoạt động và 161 công trình hư hỏng, xuống cấp dừng hoạt động. Công tác quản lý vận hành các công trình cấp nước sinh hoạt tập trung nông thôn trên địa bàn tỉnh do UBND các xã; Công ty TNHH MTV Khai thác CTTL Đắk Nông và Trung tâm Nước sạch và Vệ sinh môi trường nông thôn quản lý. *(Sở Kế hoạch và Đầu tư tỉnh Đắk Nông, 2018)*.

Các công trình khai thác (giếng khoan, giếng đào) của các hộ dân thường có lưu lượng <10 m^3/ngđ và không có giấy phép thăm dò và khai thác nước. Các công trình khai thác do địa phương quản lý thường là những công trình được xây dựng ở vùng sâu, vùng xa, vùng đồng bào dân tộc thiểu số. Tại các vùng này, việc sử dụng hệ thống cấp nước tập trung hay công tác vận hành, quản lý khai thác chưa được quan tâm nhiều dẫn đến các công trình ở những khu vực này thường nhanh xuống cấp và hư hỏng. Theo kết quả khảo sát tại một số địa phương cho thấy, một số công trình không đủ kinh phí chi trả với những vấn đề phát sinh dẫn đến phải ngừng hoạt động. Không những thế, tại một số công trình, do việc khai thác nước trong một thời gian dài, nguồn nước không kịp hồi quy, dẫn đến tình trạng thiếu nguồn nước cấp. Một số công trình khai thác nước tại các khu vực có chất lượng nước kém, công nghệ xử lý nước không cao, dẫn đến chất lượng nước không đảm bảo cho cấp nước phục vụ sinh hoạt và hoạt động kinh tế tại địa phương nên cũng phải tạm ngừng sử dụng. Nhìn chung, kết quả đánh giá cho thấy các công trình khai thác nước dưới đất do địa phương quản lý mang lại hiệu quả kinh tế thấp, do công tác quản lý, vận hành còn hạn chế, kinh phí kiểm tra, bảo dưỡng định kỳ còn thấp… Hơn nữa, do tình trạng khan khiếm nước sinh hoạt thường xuyên xảy ra đặc biệt vào mùa khô nên khả năng đáp ứng nhu cầu dùng nước của địa phương rất thấp, từ đó cho thấy các công nghệ khai thác ở đây có hiệu quả kinh tế thấp và khả năng phục vụ xã hội không cao. Kết quả khảo sát cho thấy khu vực nghiên cứu thuộc

vùng núi cao nên nguy cơ xâm nhập mặn vào tầng chứa nước thấp. Hơn nữa, do lưu lượng khai thác không cao, lại thường cạn kiệt vào mùa khô nên mức độ ảnh hưởng của công nghệ khai thác đến sự suy giảm lưu lượng, mực nước cũng như biến đổi chất lượng nước của các công trình khai thác nước dưới đất nằm trong vùng ảnh hưởng của công trình và đến các nguồn nước mặt xung quanh khu vực là thấp. Dựa trên kết quả nghiên cứu cho thấy các công nghệ khai thác hiện nay tại khu vực Đăk Nông có mức độ tác động trung bình đến tính ổn định của nguồn nước, trong đó thực trạng khan hiếm nước là nghiêm trọng nhất, do đó địa phương cần quan tâm, đầu tư công nghệ, nâng cấp sửa chữa các hệ thống xử lý nước, trong đó ưu tiên vào những khu vực có nhu cầu cao về nguồn nước sạch để đảm bảo cung cấp nước cho đời sống dân sinh, đảm bảo quản lý tốt nguồn nước.

3.4 Đề xuất giải pháp quản lý, bảo vệ nước dưới đất vùng Đăk Nông

Với hiện trạng khan hiếm nước cùng thực trạng khai thác nước dưới đất ở khu vực, để đảm bảo nguồn nước cung cấp cho người dân địa phương, một số giải pháp được kiến nghị đề xuất như sau:

- Quy hoạch phân vùng cấm, hạn chế khai thác nước dưới đất để đảm bảo nguồn nước cung cấp cho địa phương. Hiện nay, đã xác định được 09 vùng cấm khai thác với tổng diện tích là 0,376 km^2 và 20 vùng hạn chế khai thác (HC1 là 17 vùng, HC2 là 03 vùng), với tổng diện tích là 10,124 km^2 (HC1 là 9,532 km^2, HC2 là 0,592 km^2). Tổng diện tích vùng cấm, vùng hạn chế khai thác là 10,5 km^2, chiếm 0,17% so với tổng diện tích lộ của các tầng chứa nước (6.147,7 km^2) *(Đặng Văn Quyền và nnk, 2023)*. Do đó, cần tuân thủ các quy định về khai thác nước tại các khu vực cấm và hạn chế khai thác nước dưới đất.

- Thực hiện việc rà soát, kiểm tra thường xuyên, phát hiện các tổ chức, cá nhân khoan, thăm dò, khai thác nước dưới đất chưa có giấy phép hoặc chưa đăng ký. Định kỳ lập danh sách các tổ chức, cá nhân chưa có giấy phép khai thác, yêu cầu tuân thủ cấp phép và xử phạt theo quy định.

- Xây dựng và thực hiện chương trình thanh tra, kiểm tra hằng năm, kết hợp với công tác kiểm tra đột xuất, chú trọng đối với các tổ chức, cá nhân khai thác sử dụng nước lớn, các công trình có quy mô khai thác đối với các khu vực có nguy cơ ô nhiễm nước dưới đất cao.

- Kiểm tra xử lý, cải tạo các giếng khoan đang bị xuống cấp, có nguy cơ không khai thác được nước dưới đất để đảm bảo việc cấp nước được thường xuyên.

- Xây dựng, hoàn thiện hệ thống cơ sở dữ liệu tài nguyên nước dưới đất trên toàn tỉnh. Xây dựng phần mềm quản lý, kết nối cơ sở dữ liệu về hiện trạng chất lượng nước, nguồn thải, hoạt động khai thác, sử dụng nước... phục vụ công tác quản lý tài nguyên nước, công tác cấp phép xả thải, khai thác, sử dụng nước dưới đất. *(Sở Tài nguyên và Môi trường Đắk Nông, 2018).*

- Đầu tư nâng cấp, hoàn thiện việc xây dựng, vận hành hệ thống giám sát hoạt động khai thác nước dưới đất để theo dõi, phát hiện các công trình bị suy giảm mực nước quá mức và có phương án xử lý kịp thời; nâng cấp, hoàn thiện hệ thống cơ sở dữ liệu về nước dưới đất.

- Kiểm soát xả thải để hạn chế ảnh hưởng của các nguồn thải đến chất lượng nước dưới đất khu vực. Tuyên truyền nâng cao ý thức cộng đồng dân cư về việc sử dụng hợp lý, khoa học nguồn nước dưới đất, đảm bảo đủ nguồn nước cấp cho sinh hoạt và hoạt động kinh tế - xã hội của địa phương.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy nước dưới đất trên địa bàn Đắk Nông chủ yếu tồn tại trong tầng chứa nước (TCN) lỗ hổng trầm tích Holocen; TCN khe nứt - lỗ hổng phun trào Bazan và TCN khe nứt trầm tích Jura. Nước dưới đất có sự thay đổi theo mùa và khan hiếm nước vào mùa khô.

Đắk Nông có 2 loại hình khai thác nước dưới đất chính, trong đó các công trình khai thác nước dưới đất có lưu lượng $Q \geq 10$ m^3/ngđ chủ yếu thuộc các trạm cấp nước tập trung nông thôn và các công trình được cấp phép khai thác, sử dụng nước dưới đất của các doanh nghiệp, hộ kinh doanh và với lưu lượng nhỏ hơn cho khai thác quy mô hộ gia đình phục vụ cấp nước sinh hoạt. Nguồn

nước dưới đất khai thác, sử dụng cho địa phương có chất lượng tương đối tốt, chỉ có một vài thông số vượt QCVN 09:2023/BTNMT là Fe, Coliform.

Nghiên cứu cũng đã đánh giá được công tác quản lý khai thác nước dưới đất tại địa phương, trong đó đối với các công trình khai thác, sử dụng nước dưới đất do các doanh nghiệp, Công ty hoặc Trung tâm Nước sinh hoạt & Vệ sinh Môi trường nông thôn trực tiếp quản lý, công trình hoạt động bền vững, chất lượng khá tốt, chất lượng nguồn nước ổn định, thường xuyên được định kỳ kiểm tra, nâng cấp và sửa chữa, mang lại hiệu quả kinh tế cao. Những công trình được xây dựng ở vùng sâu, vùng xa, vùng đồng bào dân tộc thiểu số, việc sử dụng hệ thống cấp nước tập trung hay công tác vận hành, quản lý khai thác chưa được quan tâm nhiều dẫn đến các công trình ở những khu vực này thường nhanh xuống cấp và hư hỏng, hiệu quả kinh tế thấp.

Từ đó, nghiên cứu cũng đã đề xuất một số giải pháp để tăng cường hiệu quả công tác quản lý nước dưới đất tại địa phương, đảm bảo nguồn nước cấp phục vụ đời sống dân sinh, phát triển kinh tế - xã hội cho địa phương, hướng tới phát triển kinh tế bền vững cho Đắk Nông.

Tài liệu tham khảo

Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2013. Thông tư số 19/2013/TT-BTNMT ngày 18/7/2013 về việc Quy định kỹ thuật quan trắc tài nguyên nước dưới đất.

Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2014. Thông tư số 27/2014/TT-BTNMT ngày 30/05/2014 về việc quy định việc đăng ký khai thác nước dưới đất, mẫu hồ sơ cấp, gia hạn, điều chỉnh, cấp lại giấy phép tài nguyên.

Đặng Văn Quyền và nnk, 2023. Dự án điều tra, khoanh định vùng hạn chế khai thác nước dưới đất, khu vực phải đăng ký khai thác nước dưới đất tỉnh Đắk Nông, Liên đoàn Quy hoạch và Điều tra TNN miền Trung.

Sở Kế hoạch và Đầu tư tỉnh Đắk Nông, 2018. Báo cáo thực trạng và phương án phát triển kết cấu hạ tầng phòng chống thiên tai và thủy lợi tỉnh Đắk Nông thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050, Đắk Nông.

Sở Tài nguyên và Môi trường Đắk Nông, 2018. Báo cáo đánh giá hiện trạng các vùng khan hiếm nước; phạm vi và mức độ ảnh hưởng; xác định các vấn đề cấp bách cần giải quyết để phòng, chống, khắc phục hậu quả tác hại do nước gây ra trong kỳ quy hoạch và thứ tự ưu tiên giải quyết, Đắk Nông.

Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Đắk Nông, 2023. Báo cáo định kỳ hàng năm trong quá trình khai thác, sử dụng nước dưới đất, Đắk Nông.

Sở Tài nguyên và Môi trường Đắk Nông, 2018. Báo cáo quy hoạch tài nguyên nước tỉnh Đắk Nông giai đoạn 2015 đến năm 2025, định hướng đến năm 2035, Đắk Nông.

Sở Tài nguyên và Môi trường Đắk Nông, 2024. Báo cáo tổng hợp kết quả chương trình quan trắc môi trường định kỳ trên địa bàn tỉnh Đắk Nông giai đoạn 2020-2023.

Văn Tâm, 2015. Đắk Nông: Cảnh báo sự suy kiệt nguồn tài nguyên nước ngầm, Báo Đắk Nông

Nguyễn Ton và nnk, 2020. Dự án điều tra, tìm kiếm nguồn nước dưới đất tại các vùng núi cao, vùng khan hiếm nước, Liên đoàn Quy hoạch và Điều tra TNN miền Trung.

Trung tâm Quy hoạch và Điều tra tài nguyên nước quốc gia, 2018. Chương trình Quan trắc Quốc gia tài nguyên nước dưới đất thuộc khu vực Tây Nguyên (2019-2023), Hà Nội.

Trung tâm quy hoạch điều tra tài nguyên nước quốc gia, 2020, Báo cáo kết quả điều tra giai đoạn I (2020), Điều tra tìm kiếm nguồn nước dưới đất tại các vùng núi cao, vùng khan hiếm nước thuộc chương trình Điều tra, tìm kiếm nguồn nước dưới đất để cung cấp nước sinh hoạt ở các vùng núi cao, vùng khan hiếm nước, Hà Nội.

Assessment of the groundwater exploitation status in the Dak Nong area

Tran Thi Thanh Thuy[1,*], Tran Thi Kim Ha[1]
[1]*Hanoi University of Mining and Geology*
**Corresponding Author: Email: tranthithanhthuy@humg.edu.vn*

Abstract

Groundwater in the Dak Nong area is used for domestic water supply and local socio-economic development. However, this resource is currently facing the risk of degradation and depletion, especially in the dry season, concentrated in Krong No, Cu Jut, and Dak Song. By collecting documents, statistics, and field surveys, the study assessed the status of groundwater exploitation in the area. The research results so that the basalt fissure-vent aquifer is mainly exploited, with an exploited flow of 10,609.3 m^3/day, accounting for 55.23% of the total exploited flow. Next is the lower-middle Jurassic aquifer (j_{1-2}) with an exploited flow of 8,542.9 m^3/day, accounting for 44.47% of the total exploited flow. The lowest exploitation flow is in the Holocene aquifer (qh), approximately 56.2 m^3/day, accounting for 0.3% of the total exploitation flow. The total exploitation flow of groundwater in 4,873 borholes is 19,208.4 m^3/day. Of which, the largest exploitation area is in Cu Jut, with a total of 770 exploitation wells, a total exploitation flow of 6,056.9 m^3/day, accounting for 31.5%, and the least exploited area is Gia Nghia with 272 exploitation wells, a total flow of 544.5 m^3/day, accounting for 2.8%. The study also assessed the current management, exploitation, and use of groundwater in the area. Since then, the research has proposed solutions for protecting groundwater resources and ensuring sustainable socio-economic development for the locality.

***Keywords**:* Resources; groundwater; exploitation; Dak Nong.

ĐIỀU KIỆN THỦY VĂN LƯU VỰC SÔNG CÁI ĐOẠN PHAN RANG - NINH THUẬN VÀ CÁC GIẢI PHÁP KHAI THÁC SỬ DỤNG NGUỒN NƯỚC HIỆU QUẢ CHO CÁC CÔNG TRÌNH TRONG KHU VỰC

Vũ Thu Hiền[1,*]
[1]*Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
**Tác giả liên hệ: Email: vuthuhien@humg.edu.vn*

Tóm tắt

Lưu vực sông Cái đoạn Phan Rang thuộc tỉnh Ninh Thuận có chế độ thủy văn phức tạp do ảnh hưởng của địa hình và khí hậu khô hạn. Báo cáo này trình bày chi tiết điều kiện thủy văn của lưu vực, đánh giá các đặc trưng dòng chảy và đề xuất các giải pháp quản lý, khai thác nguồn nước bền vững. Các kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học cho việc quy hoạch và xây dựng các công trình liên quan đến tài nguyên nước trong khu vực.

Từ khóa: Điều kiện thuỷ văn; đặc trưng dòng chảy; khai thác bền vững.

1. Đặt vấn đề

Lưu vực sông Cái Phan Rang đóng vai trò quan trọng trong cấp nước cho sản xuất nông nghiệp, công nghiệp và sinh hoạt tại tỉnh Ninh Thuận. Tuy nhiên, khu vực này chịu ảnh hưởng của chế độ khí hậu khô hạn, lượng mưa thấp và sự phân bố dòng chảy không đều, đặc biệt là vào mùa kiệt. Sự biến đổi khí hậu cũng làm gia tăng nguy cơ hạn hán và lũ lụt tại khu vực này. Do đó, việc nghiên cứu chi tiết điều kiện thủy văn và tìm kiếm giải pháp khai thác, sử dụng nguồn nước hiệu quả là cấp thiết.

2. Cơ sở lý thuyết đánh giá điều kiện thủy văn cho một lưu vực sông

Đánh giá điều kiện thủy văn của một lưu vực sông là bước nền tảng trong nghiên cứu tài nguyên nước, quy hoạch phát triển bền vững và phòng chống thiên tai. Quá trình này đòi hỏi sự tổng hợp đa chiều các yếu tố tự nhiên và nhân sinh. Trước hết, các thông số khí tượng - thủy văn như lượng mưa, nhiệt độ, độ ẩm, lưu lượng dòng chảy, mực nước, và chế độ lũ - hạn đóng vai trò chủ đạo trong việc xác định đặc điểm dòng chảy và biến động nguồn nước theo không gian và thời gian. Tiếp theo, đặc điểm địa hình, địa chất và thổ nhưỡng của lưu vực ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng thấm, giữ nước và hình thành dòng chảy mặt. Địa hình dốc, đất đá kém thấm thường tạo điều kiện cho dòng chảy nhanh, trong khi vùng bằng phẳng, đất phù sa lại có khả năng điều tiết nước tốt hơn. Bên cạnh đó, thảm thực vật và hiện trạng sử dụng đất trong lưu vực cũng là yếu tố quan trọng, tác động đến quá trình thấm, bay hơi và dòng chảy. Sự suy giảm diện tích rừng, gia tăng đô thị hóa và hoạt động nông nghiệp không kiểm soát có thể làm thay đổi chế độ thủy văn tự nhiên, gia tăng nguy cơ lũ lụt và suy thoái nguồn nước. Các công trình thủy lợi như hồ chứa, đập, kênh mương và hệ thống tưới tiêu cũng góp phần điều tiết dòng chảy, nhưng đồng thời có thể gây ra những biến đổi cục bộ về thủy văn nếu không được quản lý hợp lý.

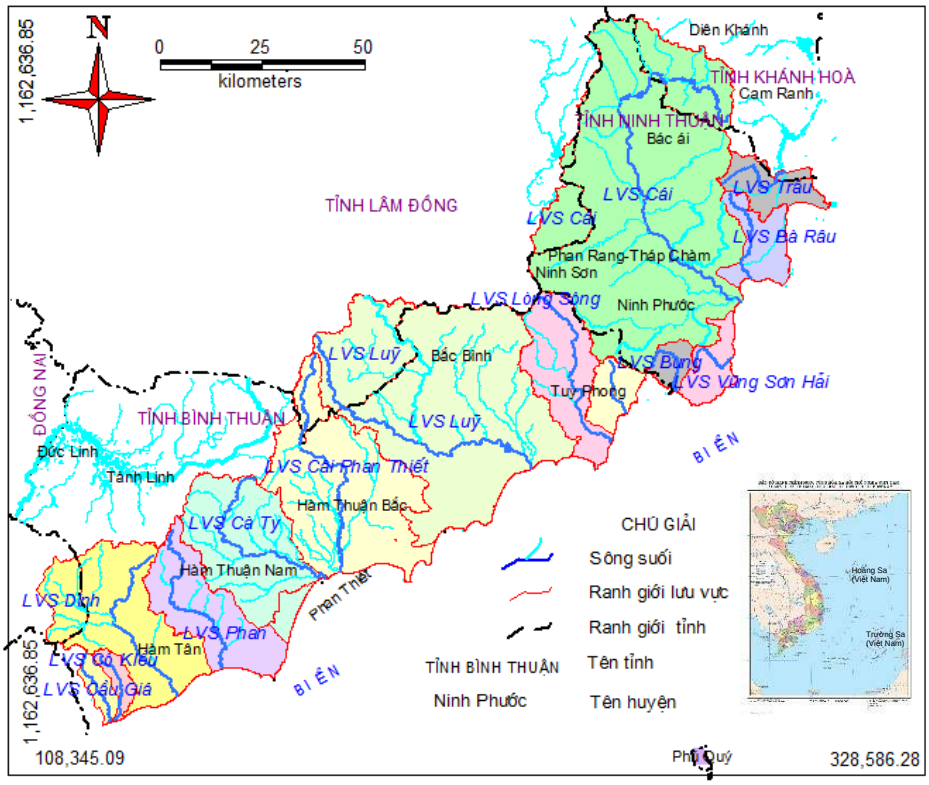
Trong bối cảnh biến đổi khí hậu và gia tăng áp lực phát triển, việc ứng dụng các mô hình thủy văn toán học, phân tích thống kê chuỗi số liệu, kết hợp công nghệ GIS và viễn thám ngày càng trở nên cần thiết. Những công cụ này cho phép mô phỏng, dự báo và đánh giá chính xác hơn về chế độ dòng chảy, từ đó hỗ trợ công tác quy hoạch, quản lý và ra quyết định. Việc phân vùng khí hậu - thủy văn và phân loại lưu vực theo quy mô, chức năng cũng giúp định hướng các giải pháp quản lý phù hợp với đặc điểm từng vùng.

3. Điều kiện thủy văn lưu vực sông Cái (đoạn Phan Rang - Ninh Thuận)

3.1 Đặc điểm địa hình và khí hậu

Lưu vực sông Cái Phan Rang là lưu vực sông chính của tỉnh Ninh Thuận. Sông bắt đầu từ sườn Đông của dãy núi Gia Rích (1.923 m) giáp ranh với tỉnh Lâm Đồng, sông chảy theo hướng Bắc -

Nam đổ ra biển Đông tại vịnh Phan Rang, ba mặt là núi cao và một mặt hướng ra biển Đông, có diện tích khoảng 3.600 km² có tổng chiều dài các sông suối khoảng 430 km. Chiều dài dòng chính sông Cái khoảng 120 km, chiều rộng khoảng 20-35m. Mặt cắt dọc sông Cái có dạng bậc thềm. Ở thượng nguồn, sông chảy ven theo các sườn núi cao trên 1.500 m, lòng sông đầy đá tảng, cuội sỏi, độ dốc lòng sông lớn, sườn dốc ngắn, đất đai chủ yếu là tổ hợp đất núi Feralít. Địa hình này ảnh hưởng lớn đến chế độ dòng chảy, đặc biệt là trong mùa lũ. Mật độ sông trong khu vực chỉ từ 0 - 1,6 km/km², cho thấy hệ thống sông suối thưa thớt, khả năng cung cấp nước tự nhiên hạn chế.



Hình 1. Sơ đồ vị trí hệ thống sông, suối vùng nghiên cứu

Khí hậu Ninh Thuận thuộc kiểu khí hậu nhiệt đới gió mùa nhưng có đặc điểm khô hạn nhất Việt Nam. Chế độ khí hậu của Ninh Thuận rất phức tạp và hạn chế về lượng mưa, sự phân bố lượng mưa cũng có sự phân hóa rất rõ rệt. Khu vực miền núi, đặc biệt là thượng nguồn sông Cái lượng mưa dồi dào hơn cả, khu vực đồng bằng và ven biển là những khu vực ít mưa nhất tỉnh Ninh Thuận. Tỉnh Ninh Thuận được biết đến là vùng khô hạn nhất cả nước. Lượng mưa năm có sự phân bố không đồng đều theo địa hình rất rõ, trung bình năm chỉ khoảng 640,9 - 910,8 mm. Bốc hơi dao động từ 1.417 - 1.817 mm/năm, cao hơn lượng mưa trung bình. Độ ẩm của đất biến động từ 3,65 - 55%, ảnh hưởng đến khả năng giữ nước của đất. Do đó hạn hán đang là vấn đề nghiêm trọng, ảnh hưởng đến đời sống và sản xuất của người dân trong vùng.

3.2 Chế độ dòng chảy

Dòng chảy trên sông Cái đoạn Phan Rang có sự biến động lớn giữa các mùa, các số liệu đo đạc cho thấy lưu lượng trung bình năm dao động từ 11,2 - 12,4 l/s. Mùa lũ kéo dài từ tháng 9 đến tháng 12, tổng lượng dòng chảy chiếm từ 55-70% tổng lượng dòng chảy năm. Tháng 10 và 11 là thời điểm có lượng dòng chảy lớn nhất, thường xuất hiện lũ lớn. Trong khi đó, mùa kiệt kéo dài từ tháng 1 đến tháng 8, với dòng chảy thấp, gây khó khăn cho việc khai thác nước.

Khảo sát vết lũ là một bước quan trọng trong quá trình đánh giá điều kiện thủy văn của một lưu vực sông, đặc biệt trong nghiên cứu chế độ dòng chảy lũ và phân tích rủi ro ngập lụt. Vết lũ, hay còn gọi là dấu tích mực nước lũ cực đại, là biểu hiện vật lý còn lại sau khi lũ rút, thường xuất hiện dưới dạng vết bùn, thay đổi màu sắc trên thân cây, công trình hoặc địa hình tự nhiên. Việc xác định chính xác cao trình vết lũ cho phép tái hiện mực nước lũ lịch sử, từ đó phục vụ hiệu chỉnh

mô hình thủy văn - thủy lực, xây dựng bản đồ ngập lụt, và đánh giá tần suất - cường độ lũ trong lưu vực. Kết quả khảo sát vết lũ không chỉ cung cấp dữ liệu đầu vào cho mô hình hóa thủy văn mà còn là cơ sở khoa học để đề xuất các giải pháp quy hoạch không gian, quản lý rủi ro thiên tai và thiết kế công trình phòng chống lũ lụt.

Các vết lũ lịch sử năm 1993 và 2018 trong khu vực nghiên cứu được xác định thông qua khảo sát thực địa và phỏng vấn người dân địa phương sống gần sông và có nương rẫy bị ngập chỉ dẫn vị trí các vết lũ dọc theo sông.Khảo sát điều tra, xác định vị trí các vết lũ lịch sử năm 1993, vết lũ năm 2018 tại khu vực đo mặt cắt ngang, xác định cao độ và toạ độ vị trí các vết lũ xác định được. Cao - tọa độ các vết lũ được dẫn nối với hệ thống cọc mốc cao tọa độ hạng IV và hạng kỹ thuật của công trình bằng thiết bị máy đo địa hình NIKON 3M đồng bộ. Kết quả khảo sát cao độ các vết lũ điều tra dao động từ 191,68 - 246,99mm, cho thấy trận lũ lịch sử năm 1993 đạt cao độ gần 247 m, tương tự với đỉnh lũ năm 2018 và phân bổ đều dọc 12 điểm quan trắc, khẳng định đặc tính lũ lớn theo mùa.

Bảng 1. *Cao toạ độ các vết lũ 2018 ở đoạn sông khảo sát*

STT	Tên điểm	Vết lũ 2018 độ cao (m)	Toạ độ (VN2000 KTT 108º15')
1	VL1_2018	246,98	X=1325280.70; Y=556625.23
2	VL2_2018	246,99	X=1325102.10; Y=556427.45
3	VL3_2018	244,96	X=1325028.10; Y=556272.45
4	VL4_2018	241,85	X = 1325407.01; Y = 555486.01
5	VL5_2018	207,70	X = 1321051.62; Y = 555317.45
6	VL6_2018	206,22	X = 1321028.50; Y = 555456.04
7	VL7_2018	205,76	X = 1321055.10; Y = 555504.26
8	VL8_2018	205,76	X = 1319470.18; Y = 555629.30
9	VL9_2018	192,91	X = 1319247.56; Y = 555724.18
10	VL10_2018	192,57	X = 1319066.73; Y = 555851.94
11	VL11_2018	191,89	X = 1319226.77; Y = 556116.45
12	VL12_2018	191,68	X = 1319242.67; Y = 556292.54

Kết quả đo lưu lượng tại các mặt cắt ở 3 vị trí đoạn sông thẳng nước chảy êm, phân bố đều (tại hạ lưu, tại vị trí thượng lưu khoảng 80m và tại thượng lưu khoảng 300m) dao động từ 11,2 đến 12,4 m^3/s, với mực nước thay đổi lớn theo từng vị trí khảo sát, từ 186,65m (tại vị trí cách thượng lưu khoảng 300m) đến 241,92m (tại vị trí hạ lưu). Các số liệu đo đạc được thực hiện theo đúng quy trình kỹ thuật, đảm bảo độ tin cậy cao.

Bảng 2. *Thống kê kết quả đo lưu lượng và mực nước*

Vị trí 1	*Q (m^3/s)*	*H (m)*
MC1	11,2	241,92
MC2		241,79
MC3		239,60
MC4		239,47
Vị trí 2	*Q (m^3/s)*	*H (m)*
MC5	12,0	241,79
Vị trí 3	*Q (m^3/s)*	*H (m)*
MC6	12,4	188,45
MC7		186,65

Kết hợp các số liệu thực địa và phân tích, tổng hợp các tài liệu khí tượng, thủy văn của lưu vực sông Cái Phan Rang cho thấy lưu vực có chế độ thủy văn đặc trưng bởi tính chất bán khô hạn, với lượng mưa phân bố không đều theo mùa và không gian, tập trung chủ yếu vào mùa mưa ngắn. Dòng chảy sông biến động mạnh, phụ thuộc lớn vào lượng mưa và điều kiện địa hình, dẫn đến nguy cơ hạn hán và lũ lụt cục bộ. Hệ số dòng chảy thấp, khả năng điều tiết tự nhiên hạn chế, đòi hỏi giải pháp quản lý tài nguyên nước tổng hợp và thích ứng với biến đổi khí hậu.

4. Các giải pháp khai thác sử dụng nguồn nước hiệu quả, đảm bảo an toàn, bền vững cho lưu vực sông Cái đoạn Phan Rang - Ninh Thuận

4.1 Giải pháp chung

- Xây dựng hệ thống hồ chứa và đập dâng với mục tiêu điều tiết dòng chảy, giảm thiểu tác động của mùa lũ và mùa kiệt, đảm bảo nguồn nước ổn định.

- Giảm tổng lượng nước dùng cho nông nghiệp (hiện chiếm phần lớn) 30% trong 5 năm thông qua tiết kiệm và chuyển đổi phương thức tưới.

- Tăng cường công tác dự báo thủy văn, cảnh báo sớm về lũ lụt và hạn hán để có biện pháp ứng phó bằng cách xây dựng hệ thống quan trắc thủy văn tự động để theo dõi mực nước và lượng mưa; Phát triển mô hình dự báo thủy văn dựa trên dữ liệu thời gian thực.

- Bảo vệ và phục hồi rừng đầu nguồn, giảm xói mòn đất, duy trì dòng chảy ổn định: Trồng rừng phòng hộ tại khu vực đầu nguồn nhằm giảm dòng chảy bề mặt và ưng dụng các biện pháp chống xói mòn như xây dựng bậc thang, kè đá.

- Quản lý tổng hợp tài nguyên nước, khai thác, bảo vệ và sử dụng nguồn nước hợp lý: Xây dựng kế hoạch quản lý tổng hợp tài nguyên nước cho khu vực nghiên cứu. Áp dụng chính sách khuyến khích sử dụng nước tiết kiệm.

4.2 Một số giải pháp cụ thể đề xuất

- Chuyển đổi tưới - mục tiêu diện tích và tiết kiệm: Trong 5 năm, chuyển 10.000 ha nông nghiệp ưu tiên (các vùng trồng thanh long, nho, măng tây, cây ăn quả tập trung) sang tưới nhỏ giọt/nhỏ giọt định lượng + cảm biến ẩm. (giai đoạn sau mở rộng lên 20.000 ha nếu kinh tế hợp lý). Hiệu quả kỳ vọng: tưới nhỏ giọt tiết kiệm 30-50% nước so với tưới truyền thống (phổ biến trong nghiên cứu và chương trình áp dụng tại vùng khô hạn).

+ Tăng hiệu suất tưới từ mức hiện trạng (giả định 40-50%) lên ≥70% trong 5 năm cho các vùng áp dụng tưới hiện đại.

+ Tăng dung tích lưu trữ hữu dụng và tích lũy bổ sung tối thiểu +100 triệu m^3 (kết hợp hồ nhỏ, trữ ngầm, thu nước mưa) trong 5-10 năm.

+ Tăng tái tạo nước ngầm đạt +50 triệu m^3/năm bằng công trình thấm, check-dams, và khu vực rửa nước thải được xử lý.

- Tối ưu hóa vận hành hồ - phân bổ nước và dự báo: Ưu tiên sinh hoạt và nước đô thị: 20-25% dung tích khả dụng các hồ hàng năm. Nông nghiệp (tưới): 60-65% (giảm dần theo tiến độ tiết kiệm). Dòng tối thiểu, ven biển chống xâm mặn: 10-15%. Vận hành thích ứng: áp dụng mô hình dự báo (SWAT / HEC-HMS) để cập nhật quyết định xả/giữ nước hàng tháng theo dự báo mùa mưa/hạn.

- Tăng lượng trữ và sạc: Mục tiêu dung tích bổ sung (5-10 năm): Tăng 100 triệu m^3 (kết hợp: hồ nhỏ mới, nâng cấp hồ hiện hữu, hồ trữ đất liền, bể trữ đô thị, các công trình thấm). Xây, hoàn thiện 10-20 hồ trữ nhỏ, thu nước mưa đô thị và nông thôn bằng lắp mái thu gom tại đô thị, các công trình công cộng.

- Giảm thất thoát kênh truyền dẫn và nâng cấp nội đồng, mục tiêu giảm xuống ≤ 10% trong 3 năm bằng kênh lót, sửa van, hệ thống đo,…

- Tái sử dụng nước và xử lý, trong 5 năm xử lý và tái sử dụng nước thải đô thị cho tưới cây,

công nghiệp bằng cách xây 1 - 2 nhà máy xử lý nước thải cỡ trung (quy mô 2.000-5.000 m^3/ngày) ở khu đô thị trung tâm, mạng phân phối nội bộ cho tưới công viên, công nghiệp nhẹ.

5. Kết luận và kiến nghị

Lưu vực sông Cái - Phan Rang có điều kiện thủy văn đặc biệt, với chế độ dòng chảy chịu ảnh hưởng mạnh bởi địa hình và khí hậu khô hạn. Việc khai thác và sử dụng nguồn nước cần có các giải pháp đồng bộ nhằm đảm bảo hiệu quả, an toàn và bền vững. Các đề xuất trong báo cáo này góp phần hỗ trợ công tác quản lý tài nguyên nước trong khu vực, để đáp ứng được mục tiêu này, cần:

- Tiếp tục nghiên cứu chi tiết về tác động của biến đổi khí hậu đến chế độ dòng chảy.
- Đẩy mạnh ứng dụng công nghệ tiên tiến trong quản lý và khai thác nguồn nước.
- Tăng cường hợp tác giữa các cơ quan quản lý, nhà khoa học và cộng đồng địa phương để thực hiện các giải pháp hiệu quả.

Tài liệu tham khảo

Báo cáo Khảo sát thuỷ văn công trình - Công trình thuỷ điện Phước Bình, 2019

Đào Thị Thu Huyền, Trần Tuấn Tú, 2017, Diễn biến hạn hán ở lưu vực sông Cái - Phan Rang, tỉnh Ninh Thuận, *Science & Technology Development Journal.*

Hydrological Conditions of the Cai River Basin in the Phan Rang - Ninh Thuan Section and Efficient Water Resources Utilization Solutions for Infrastructure in the Region

Vu Thu Hien[1,*]

[1]*Hanoi University of Mining and Geolgy*

**Corresponding Author: Email: vuthuhien@humg.edu.vn*

Abstract

The Cai River basin in the Phan Rang area of Ninh Thuan Province exhibits complex hydrological regimes due to the influence of topography and arid climate conditions. This report provides a detailed analysis of the basin's hydrological conditions, evaluates key flow characteristics, and proposes sustainable water resource management and utilization solutions. The research findings offer a scientific basis for planning and developing water-related infrastructure projects in the region.

Keywords: Hydrological conditions; flow characteristics; sustainable exploitation.

XÂY DỰNG CÁC LỚP DỮ LIỆU ĐỊA HÌNH TỪ DEM SỬ DỤNG ARCGIS PRO PHỤC VỤ NGHIÊN CỨU NGUY CƠ LŨ LỤT

Phạm Thị Thanh Hòa[1,2], Trần Hồng Hạnh[1,2]*, Lưu Thị Diệu Chinh[3]

[1]Trường Đại học Mỏ - Địa chất

[2]Nhóm nghiên cứu Công nghệ Địa tin học trong Khoa học Trái đất (GES), Trường Đại học Mỏ - Địa chất

[3]Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

**Tác giả liên hệ: Email: tranhonghanh@humg.edu.vn*

Tóm tắt

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu, thiên tai ngày càng gia tăng cả về số lượng và mức độ thiệt hại. Tại Quảng Nam (nay là thành phố Đà Nẵng, Việt Nam), lũ lụt được đánh giá là mang đến nguy cơ rủi ro cao, nhiều khu vực "lũ chồng lũ", khiến người dân và chính quyền địa phương lo ngại. Đặc biệt, tại khu vực hạ lưu sông Vu Gia - Thu Bồn, tình trạng này diễn biến thường xuyên hơn. Việc có được bản đồ phân vùng nguy cơ lũ lụt trở thành cần thiết trong nhiều nghiên cứu tại đây, cũng là cách thức giúp người dân có các tiếp cận nhằm giảm thiểu rủi ro lũ lụt. Khi đó, cần xác định các nguyên nhân gây ra lũ lụt và xây dựng các lớp dữ liệu đầu vào cho các mô hình về lũ lụt. Trong đó, địa hình được đánh giá là yếu tố quan trọng. Do đó, mục đích của nghiên cứu này là xây dựng các lớp dữ liệu về địa hình bao gồm: độ cao, độ dốc, hướng dốc, độ cong, chỉ số độ ẩm địa hình (TWI - Topographic Wetness Index), chỉ số vị trí địa hình (TPI - Topographic Position Index) cho khu vực các thành phố/thị xã/huyện Đại Lộc, Điện Bàn, Duy Xuyên, Hội An thuộc tỉnh Quảng Nam cũ. Phương pháp được sử dụng là kết hợp công nghệ viễn thám và hệ thông tin địa lý GIS. Viễn thám cung cấp dữ liệu mô hình số độ cao DEM (Digital Elevation Model) Copernicus - nguồn dữ liệu miễn phí với độ phân giải 30m. GIS sử dụng các công cụ phân tích không gian trong phần mềm ArcGIS Pro để xây dựng các lớp dữ liệu địa hình từ nguồn dữ liệu DEM ban đầu. Kết quả của nghiên cứu nhằm cung cấp các yếu tố đầu vào cần thiết phục vụ cho việc xây dựng các mô hình nguy cơ lũ lụt tại khu vực.

Từ khóa: Lũ lụt, dữ liệu địa hình, GIS, hạ lưu Vu Gia - Thu Bồn, Quảng Nam.

1. Đặt vấn đề

Một trong những thảm họa thiên nhiên vẫn thường xuyên xảy ra và gây ảnh hưởng lớn đến con người và tài sản là lũ lụt. Mặc dù các nước đang không ngừng nỗ lực trong việc cải thiện các thiệt hại do lũ lụt gây ra, song hàng năm, các con số thiệt hại vẫn không ngừng tăng lên. Trên thế giới, tại các nước phát triển và đang phát triển, hiện tượng thời tiết cực đoan khiến tình trạng lũ lụt diễn biến phức tạp. Năm 2024 còn được xem là năm của các trận lũ. Theo báo cáo Các quốc gia Đông Nam Á như Ấn Độ, Pakistan, Bangladesh và Trung Quốc là những quốc gia đáng chú ý về lũ lụt 2024. Bên cạnh đó, một số khu vực ở châu Âu đã bị ảnh hưởng bởi lũ lụt tàn phá như Đức bị ảnh hưởng bởi lũ lụt vào đầu tháng 6, gây ra trận lũ lụt đột ngột với mực nước cao khoảng 6,86 mét trên sông Danubar (P *et al.*, 2025). Tại Việt Nam, từ năm 2020 đến nay, nhiều trận lũ lịch sử được ghi nhận như: trận lũ năm 2020 tại miền Trung, lũ năm 2024 tại miền Bắc, trận lũ gần đây là vào tháng 7 năm 2025 tại Bắc Trung Bộ. Các trận lũ được đánh giá với mức độ nguy hiểm cao, nhiều trận lũ đột ngột với xác suất xảy ra hiếm. Theo báo cáo tình hình phòng chống thiên tai của Chính phủ, năm 2020, tình trạng "lũ chồng lũ" được ghi nhận chưa từng có trong nhiều năm (Chính phủ, 2020). Tại khu vực miền Trung, mưa lũ lịch sử, lũ quét, sạt lở đất trên diện rộng xảy ra, gây thiệt hại nặng nề về người, tài sản, với hàng trăm người chết, mất tích, hàng nghìn ngôi nhà sập, hư hại, tốc mái; nhiều công trình, cơ sở hạ tầng bị hư hỏng. Thiệt hại về kinh tế do lũ năm 2020 ước tính trên 36.000 tỉ đồng (Thanh Chung, 2021).

Trong số các tỉnh miền Trung chịu thiệt hại nặng nề của biến đổi khí hậu, Quảng Nam (cũ) hàng năm phải gánh chịu nhiều thiên tai, lũ lụt diễn biến phức tạp, khó lường, gây ảnh hưởng trực

tiếp đến môi trường, sự phát triển kinh tế-xã hội và đời sống của người dân (Le Duc An & Vu Thi Thu Lan, 2013). Dựa trên bảng thống kê trong nghiên cứu của (Trần Ngọc Ngoạn & Nguyễn Thị Bích Nguyệt, 2020), so với năm 2014 trở về trước thì những năm gần đây các hiện tượng cực đoan như lũ lụt thường xuất hiện nhiều hơn so với các hiện tượng thời tiết khác. Đặc biệt, khu vực thuộc hạ lưu sông Vu Gia - Thu Bồn, tình trạng này diễn biến thường xuyên hơn.

Đứng trước hiểm họa này, các nghiên cứu về lũ lụt được nhiều nhà khoa học trong và ngoài nước quan tâm, với nhiều phương pháp được lựa chọn. Trong những thập kỷ gần đây, công nghệ viễn thám và hệ thông tin địa lý GIS (Geographic Information System) được sử dụng rộng rãi vì chúng cung cấp một khía cạnh mới cho việc đánh giá khả năng dễ bị tổn thương do lũ. Viễn thám mang đến thông tin nhanh chóng, phù trùm khu vực rộng và mang tính thời sự cao. Nhiều nghiên cứu sử dụng dữ liệu ảnh Radar miễn phí để đưa ra các kết quả ước tính nhanh vùng lụt (DeVries *et al.*, 2020; Uddin *et al.*, 2019), phân bố không gian và xu hướng (Chen *et al.*, 2024), cũng như đánh giá ảnh hưởng của lũ lụt đến sử dụng đất (Kurihara *et al.*, 2025). Trong khi đó, GIS với khả năng xử lý, phân tích thông tin và hỗ trợ ra quyết định, được ứng dụng trong các bài toán về nguy cơ lũ lụt (Hammami *et al.*, 2019). Mới đây, nghiên cứu của (Sar *et al.*, 2025) sử dụng phương pháp tiếp cận đa tiêu chí AHP và GIS cho kết quả phân vùng nguy cơ lũ lụt ở hạ lưu sông Keleghai, Tây Bengal, Ấn Độ, và nhận định phương pháp AHP được đề xuất với các lớp dữ liệu không gian trong môi trường GIS cung cấp đánh giá tốt hơn về vùng nguy cơ lũ lụt.

Như vậy, tùy thuộc vào khu vực nghiên cứu cũng như tính chất của lũ lụt, cần có các thông tin và kỹ thuật khác nhau để đánh giá và quản lý. Hiện nay, các bản đồ nguy cơ lũ lụt được thành lập đã hỗ trợ quy hoạch và công tác giảm thiểu rủi ro cho các địa phương. Đồng thời, nhiều khu vực dân cư cần đến các bản đồ này trong công tác chuẩn bị, ứng phó với lũ lụt, khi họ có thể thông qua bản đồ nguy cơ để xác định các vị trí dễ bị lũ lụt, các khu vực nguy hiểm. Khi đó, những thông tin cần thiết đưa vào trong một bài toán nguy cơ thiên tai cần được xác định rõ. Những yếu tố tự nhiên về địa hình, thủy văn, giao thông là những yếu tố gây ảnh hưởng đến lũ lụt và là nguồn thông tin đầu vào trong bài toán nguy cơ. Trong đó, nhiều nhà khoa học đánh giá dữ liệu địa hình là yếu tố quan trọng trong nghiên cứu lũ lụt (Sarkar & Mondal, 2020; Tehrany *et al.*, 2019; Rahman *et al.*, 2023). Địa hình quyết định đến sự phân bố, hướng dòng chảy và khả năng năng tích tụ của nước(Huang & Lee, 2021). Những khu vực có địa hình thấp, độ dốc nhỏ, hoặc nằm dọc theo các sông suối thường trở thành nơi tích tụ và thoát nước chậm, khiến lũ lụt xảy ra nghiêm trọng và kéo dài.

Nhận thấy tầm quan trọng của dữ liệu địa hình trong nghiên cứu lũ lụt, bài báo này thực hiện nhằm mục đích xây dựng các lớp thông tin địa hình cho khu vực các huyện của Quảng Nam cũ, bao gồm huyện Đại Lộc, thị xã Điện Bàn, huyện Duy Xuyên, thành phố Hội An. Các yếu tố đó là độ cao, độ dốc, hướng dốc, độ cong, chỉ số độ ẩm địa hình TWI, chỉ số vị trí địa hình TPI, được trích xuất từ dữ liệu viễn thám DEM Copernicus. Phần mềm ArcGIS Pro với công cụ phân tích không gian mạnh mẽ được sử dụng để thực hiện nhiệm vụ này.

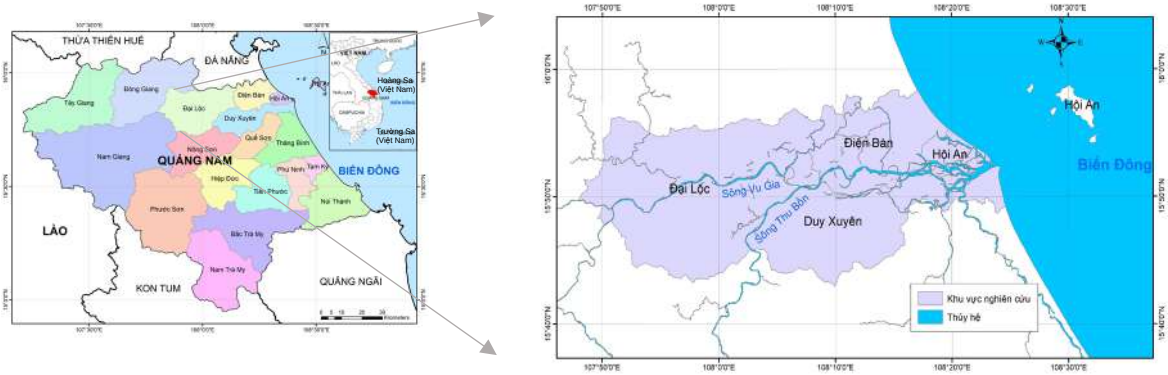
2. Khu vực nghiên cứu, dữ liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1 Khu vực nghiên cứu

Hình 1 thể hiện vị trí khu vực nghiên cứu, gồm huyện Đại Lộc, thị xã Điện Bàn, huyện Duy Xuyên, thành phố Hội An (địa danh cũ trước tháng 7 năm 2025). Khu vực này là các huyện cũ thuộc đồng bằng hạ lưu sông Vu Gia - Thu Bồn trên địa bàn tỉnh Quảng Nam cũ (nay là thành phố Đà Nẵng).

Khu vực nghiên cứu nằm ở duyên hải Nam Trung Bộ, dọc theo dòng chảy của hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn. Hệ thống sông lớn, đóng vai trò quan trọng trong hoạt động kinh tế nông nghiệp, thủy lợi, thủy điện. Khu vực có đặc trưng là vùng địa hình trũng thấp ven biển và phía Đông của tỉnh Quảng Nam cũ, trong khi phía Tây là vùng địa hình núi cao. Thời điểm mùa mưa bão xảy ra từ tháng 9 đến tháng 12 hàng năm, được xem là quy luật của vùng. Tổng lượng mưa trong các tháng này chiếm 65-70 % lượng mưa cả năm. Khu vực nghiên cứu có tổng lượng mưa năm từ 2.000-2.500mm (Trương Tuyến và nnk, 2022).

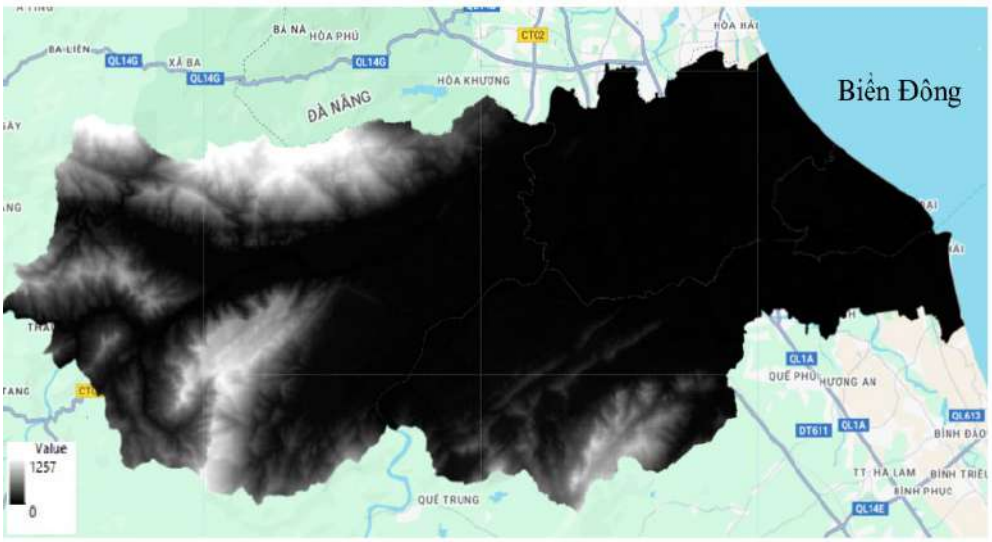
Ở Quảng Nam nói chung và khu vực nghiên cứu nói riêng, tháng 10 và tháng 11 là tháng xảy ra lũ thường xuyên, với các trận lũ lớn gần đây như năm 2013, 2017, 2020 và 2022. Lũ gây ra ảnh hưởng nặng nề đến khu vực, đặc biệt gây ra các tổn thất đến nông nghiệp - nguồn mưu sinh chính của người dân nơi đây.



Hình 1. Vị trí khu vực nghiên cứu (địa danh trước tháng 7 năm 2025)

2.2 Dữ liệu sử dụng

Nghiên cứu này sử dụng dữ liệu mô hình số độ cao DEM Copernicus là dữ liệu do Cơ quan Vũ trụ châu Âu (European Space Agency - ESA) và Ủy ban châu Âu (European Commission) cung cấp, phục vụ các nghiên cứu trong thủy văn, đánh giá rủi ro lũ lụt, giám sát đất đai và môi trường. Copernicus DEM được thể hiện trong 3 phiên bản khác nhau: COP-DEM EEA-10, COP-DEM GLO-30 và COP-DEM GLO-90 với độ phân giải 10m-90m. Trong đó 2 phiên bản miễn phí COP-DEM GLO-30 và COP-DEM GLO-90, có phạm vi phủ sóng trên toàn thế giới. Dữ liệu được thu thập thông qua sứ mệnh TanDEM-X từ năm 2011 đến năm 2015. Các tập dữ liệu đã được cung cấp để sử dụng và được duy trì đến năm 2026 (Copernicus Data Space Ecosystem, *https://doi.org/10.5270/ESA-c5d3d65*). Trong đó, nghiên cứu sử dụng phiên bản COP-DEM GLO-30 với độ phân giải 30m - dữ liệu được xử lý và phân phối miễn phí qua Copernicus Open Access Hub.



Hình 2. DEM khu vực nghiên cứu

2.3 Phương pháp nghiên cứu

Các yếu tố liên quan đến địa hình bao gồm: độ cao, độ dốc, hướng dốc, độ cong, chỉ số độ ẩm địa hình (TWI), chỉ số vị trí địa hình (TPI) được tính từ dữ liệu DEM sử dụng phần mềm ArcGIS Pro.

2.3.1 Các yếu tố địa hình ảnh hưởng đến lũ lụt

Độ cao (Elevation): Dữ liệu độ cao là DEM Copernicus, thể hiện độ cao của bề mặt địa hình. Đây là yếu tố ảnh hưởng lớn đến mức độ và phạm vi lũ lụt (Rahman *et al.*, 2023). Khu vực trũng thấp (đồng bằng, vùng ven sông) có nguy cơ lũ lụt do nước có xu hướng chảy từ cao xuống thấp, khi đó nước sẽ bị dồn lại gây lụt. Nhìn chung, lũ lụt sẽ gia tăng khi độ cao giảm và ngược lại. Ngoài ra, sự phân bố của dãy núi còn chi phối hướng dòng chảy, biến các vùng trũng thấp lân cận trở thành vùng "rốn lũ".

Độ dốc (Slope): được xác định từ dữ liệu độ cao. Đây cũng là một trong những đặc điểm địa hình quan trọng. Theo (Li *et al.*, 2012), khu vực có độ dốc lớn, nước mưa chảy lan nhanh xuống vùng hạ lưu. Trường hợp này dễ gây ra hiện tượng lũ quét. Ở vùng có độ dốc nhỏ như đồng bằng, tốc độ dòng chảy chậm, nước khó thoát nên dễ gây ngập lụt kéo dài.

Hướng dốc (Aspect): yếu tố gián tiếp ảnh hưởng đến đường di chuyển của dòng chảy do mưa lớn tạo thành. Mưa lớn sẽ theo hướng dốc về phía sông suối, tập trung tại vùng trũng và gây ra lũ lụt.

Độ cong (Curvature): hiển thị hình dạng hoặc độ cong của độ dốc. Hình dạng độ cong địa hình quyết định gia tốc, tốc độ dòng chảy. Độ cong gồm 2 loại:

- Profile curvature: độ cong song song theo hướng dốc chính, còn gọi là độ cong dọc (song song với hướng dòng chảy). Nó ảnh hưởng đến tốc độ tăng/giảm của dòng chảy hay gia tốc/giảm tốc của nước trên sườn dốc.
- Plan curvature: độ cong theo phương vuông góc với hướng dốc chính, được gọi là độ cong ngang (độ cong theo phương mặt bằng). Nó liên quan đến mức độ hội tụ hay phân kỳ của dòng chảy trên bề mặt.

Độ ẩm địa hình TWI (Topographic wetness index): Chỉ số TWI đo lượng dòng chảy tích tụ tại mỗi vị trí của lưu vực thoát nước. Các khu vực TWI cao thường là vùng trũng, dễ ngập lụt. TWI được tính theo công thức (1) dựa trên nghiên cứu của (Beven & Kirkby, 1979):

$$TWI = \ln(A_s/tan\beta) \quad (1)$$

Trong đó As là tích lũy dòng chảy được lấy từ DEM dựa trên hướng dòng chảy và β là độ dốc tính theo radian.

Chỉ số vị trí địa hình TPI (Topographic Position Index) là một chỉ số mô tả độ cao tương đối của một điểm so với địa hình xung quanh. TPI dương cho biết điểm đó ở vị trí có thể là đồi núi, giá trị âm hoặc bằng 0 cho biết vùng trũng hoặc đồng bằng, từ đó xác định vùng có nguy cơ lũ lụt cao. TPI được tính theo công thức (2):

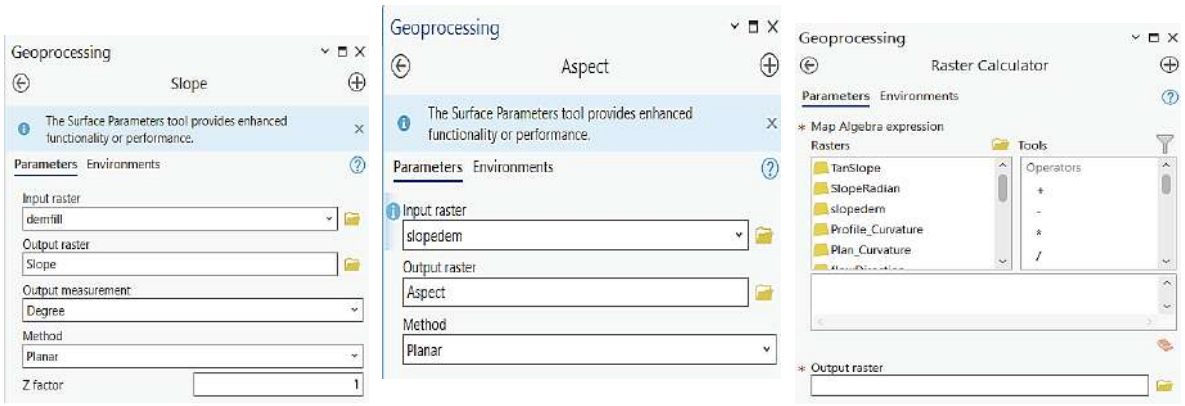
$$TPI = z_0 - \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} z_i \quad (2)$$

Trong đó z_0 là độ cao tại điểm trung tâm cần tính, z_i là độ cao của các điểm lân cận trong cửa sổ phân tích, n là số điểm lân cận được tính.

2.3.2 Sử dụng phần mềm ArcGIS Pro xây dựng các lớp dữ liệu địa hình

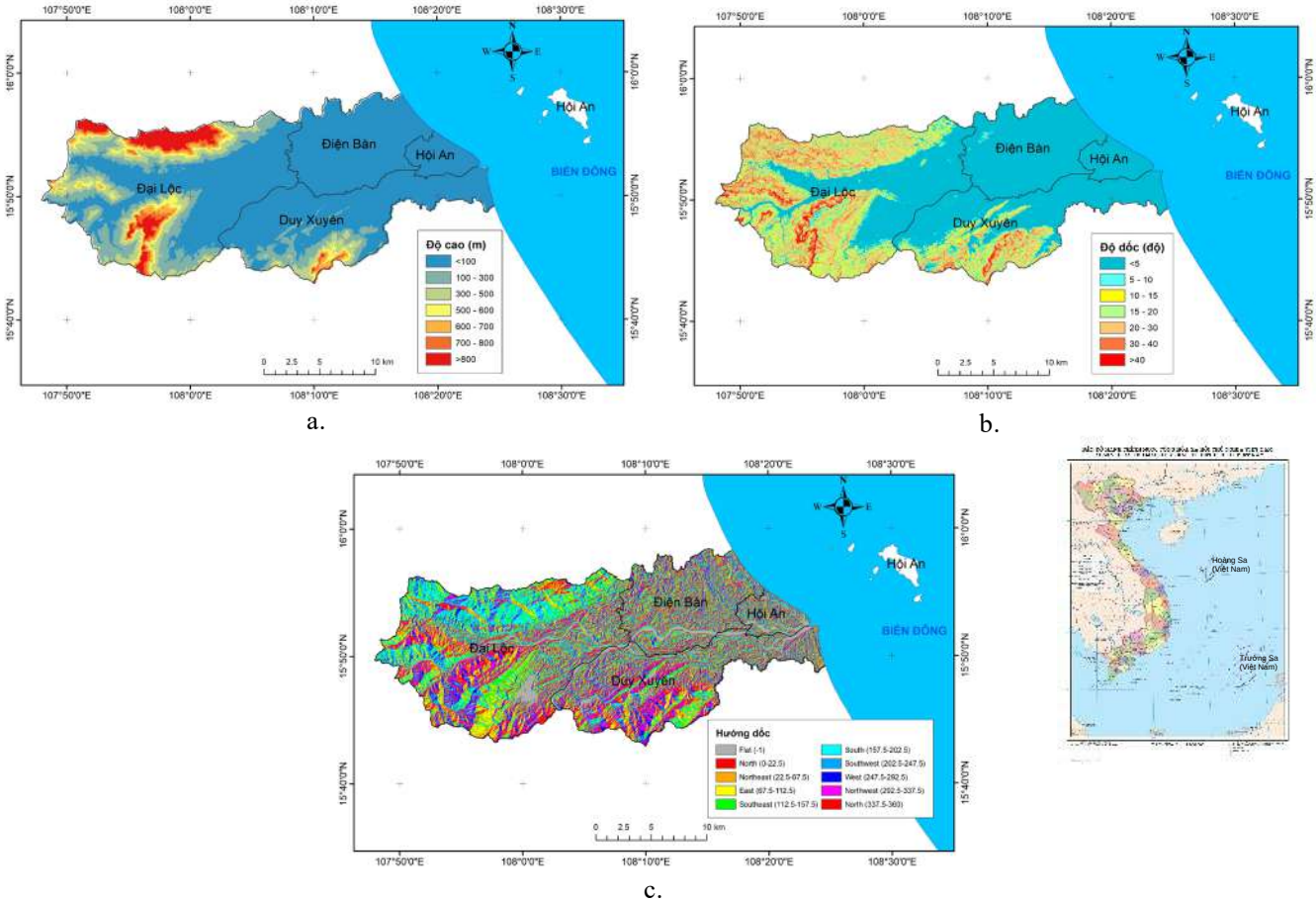
ArcGIS Pro là một ứng dụng của GIS với công nghệ vượt trội, nhiều tính năng và giao diện đẹp, dễ sử dụng. ArcGIS Pro cung cấp các công cụ phân tích chuyên nghiệp, hỗ trợ trực quan hóa dữ liệu. Do đó, nhiều nghiên cứu hiện nay cũng sử dụng phần mềm này (Shrestha *et al.*, 2025; Ullah *et al.*, 2024).

Từ dữ liệu DEM, sử dụng ArcGIS Pro với bộ công cụ phân tích không gian "Spatial Analyst Tools" bao gồm: Slope, Aspect, Curvature, Flow Direction, Flow Accumulation, Focal Statistics; và Raster Calculator để tính các yếu tố ở mục 2.3.1.



Hình 3. Một số công cụ phân tích không gian sử dụng trên ArcGIS Pro

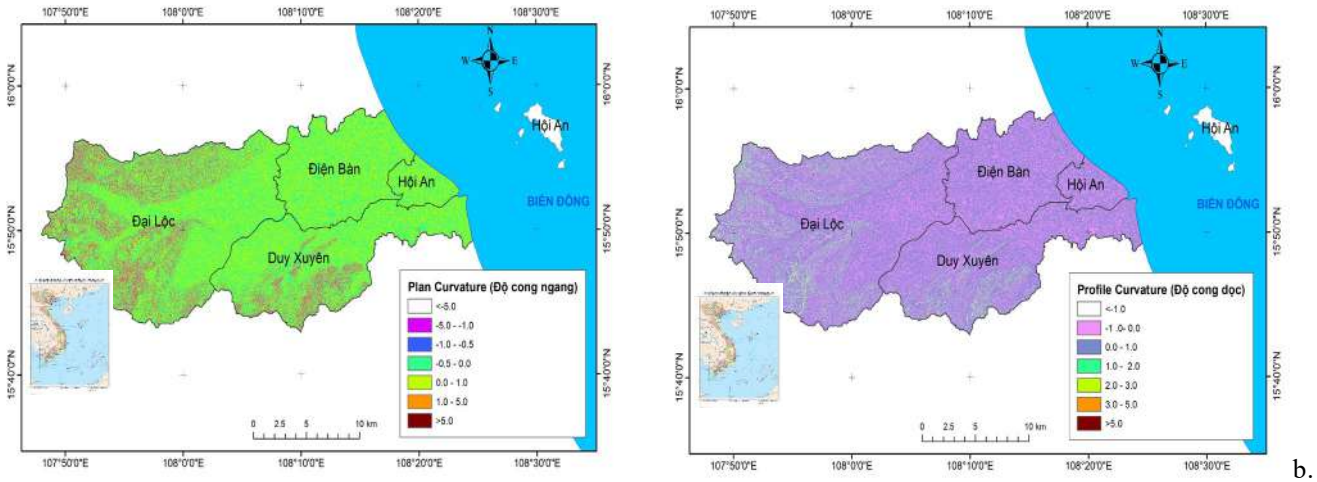
3. Kết quả và thảo luận



a. b. c.

Hình 4. Kết quả các lớp dữ liệu về độ cao (a), độ dốc (b), hướng dốc (c)

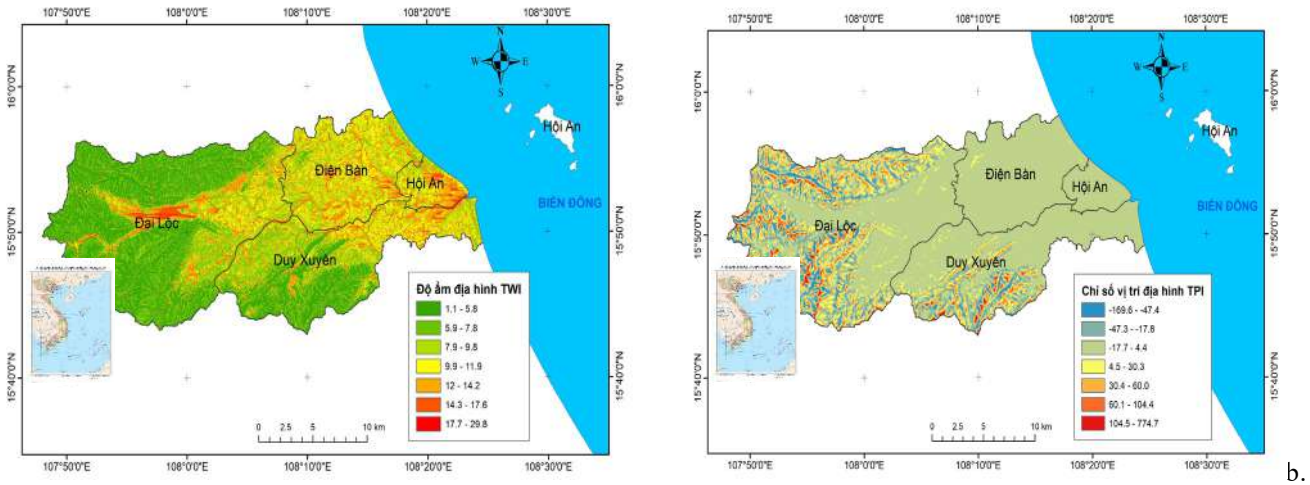
Các kết quả thu được ban đầu là dữ liệu liên quan đến địa hình: độ cao, độ dốc, hướng dốc. Hình 4a cho thấy giá trị độ cao của khu vực nghiên cứu có sự thay đổi từ Đông sang Tây. Toàn bộ vùng phía Đông có địa hình thấp, tập trung là các vùng đồng bằng. Phía tây có đồi núi cao với cao độ trên 600m. Hình 4b có kết quả độ dốc tương đồng với kết quả độ cao ở hình 4a. Giá trị hướng dốc (Aspect) (Hình 4c) được đo theo chiều kim đồng hồ tính bằng độ, từ 0 (hướng bắc) đến 360 (quay lại hướng bắc), hoàn thành một vòng tròn. Các khu vực bằng phẳng không có hướng dốc xuống được gán giá trị -1. Như vậy, khi đưa các dữ liệu vào mô hình nghiên cứu lũ lụt, nhận định ban đầu là các vùng có phần địa hình thấp (màu xanh trên hình 4a) và độ dốc nhỏ (màu xanh trên hình 4b) sẽ có xu hướng nguy cơ cao hơn.



a. b.

Hình 5. Kết quả các lớp dữ liệu về độ cong

Hình 5 là kết quả xác định độ cong (Curvature) của khu vực nghiên cứu. Khi xem xét hai dạng độ cong, giá trị bằng 0 biểu thị bề mặt tuyến tính. Mặt khác, độ cong ngang liên quan đến sự hội tụ và phân kỳ của dòng chảy trên bề mặt: giá trị dương biểu thị bề mặt lồi ngang, giá trị âm biểu thị bề mặt lõm ngang, các dòng chảy tích tụ dễ gây ngập lụt. Với độ cong dọc, giá trị âm biểu thị bề mặt lồi lên, dòng chảy sẽ giảm tốc, giá trị dương biểu thị bề mặt lõm dần và dòng chảy sẽ được tăng tốc. Như vậy, các yếu tố này sẽ chi phối tốc độ dòng chảy bề mặt khi xảy ra mưa lớn.



a. b.

Hình 6. Kết quả các lớp dữ liệu độ ẩm địa hình (a) và vị trí địa hình (b)

Về nguyên tắc, những khu vực có độ dốc nhỏ và khả năng tích tụ dòng chảy lớn sẽ có giá trị TWI cao, thể hiện tiềm năng duy trì độ ẩm cao, trong khi các khu vực dốc và ít dòng chảy hội tụ sẽ có TWI thấp, thường khô ráo hơn. Việc phân tích độ ẩm địa hình từ mô hình số độ cao (DEM) cho phép nhận diện các vùng nguy cơ ngập lụt. Bên cạnh đó, chỉ số vị trí địa hình TPI cho thấy sự chênh lệch giữa độ cao tại điểm trung tâm và giá trị trung bình độ cao của các điểm trong một vùng lân cận xác định. Giá trị TPI dương càng lớn cho thấy điểm trung tâm cao hơn địa hình xung quanh nhiều, thường đặc trưng cho các dạng địa hình như đỉnh, gờ hoặc sườn núi; và ngược lại. Trường hợp giá trị TPI xấp xỉ bằng 0 phản ánh bề mặt bằng phẳng. Như vậy trên hình 6, kết quả có thể thấy: với các giá trị độ ẩm địa hình cao (tương ứng màu đỏ bên hình 6a) và giá trị vị trí địa hình xấp xỉ bằng 0 (bên hình 6b) cho thấy vùng đồng bằng thuộc huyện Đại Lộc có nguy cơ lũ lụt cao, sau đó đến các vùng đồng bằng thuộc các huyện/thị xã còn lại. Đồng thời, vùng núi có các giá trị đặc trưng ngược lại, cho thấy không có nguy cơ hoặc nguy cơ thấp.

Nhìn chung, mỗi yếu tố cung cấp một khía cạnh ảnh hưởng đến lũ lụt, nhưng có mối quan hệ chặt chẽ với nhau thông qua kết quả tương đối đồng nhất tại một số vùng: Chỉ số độ ẩm địa hình (TWI) thể hiện sự kết hợp giữa độ dốc và diện tích tích tụ dòng chảy, do đó có sự tương quan với độ dốc nhưng bổ sung thêm thông tin về khả năng duy trì độ ẩm. Các khu vực có TWI cao thường trùng với những vùng dốc thoải và có khả năng hội tụ dòng chảy, phản ánh nguy cơ ngập lụt. Trong khi đó, chỉ số vị trí địa hình (TPI) cho thấy vùng có TPI thấp thường đồng thời có giá trị TWI cao và địa hình thấp, độ dốc nhỏ, tương ứng với vùng đồng bằng có nguy cơ lụt cao. Điều này cũng được ghi nhận trong các nghiên cứu trước đây (Choubin *et al.*, 2019).

Như vậy, từ DEM hoàn toàn có thể tạo ra các lớp dữ liệu địa hình khác cho các bài toán về lũ lụt. Điều đó cũng đồng nghĩa với việc độ tin cậy của kết quả hoàn toàn phụ thuộc vào DEM được sử dụng. Giữa các DEM miễn phí hiện nay, mô hình được đánh giá cao và thường được sử dụng là DEM SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) và DEM Copernicus. Theo các thông số sản xuất, DEM Copernicus có độ chính xác độ cao dưới 4m (Copernicus Data Space Ecosystem, *https://doi.org/10.5270/ESA-c5d3d65*). Trong khi đó DEM SRTM, sai số tương ứng là 16m (USGS, *https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-srtm-mission-summary*). Mặt khác, nghiên cứu của (Ghannadi *et al.*, 2023) đánh giá, mặc dù có cùng độ phân giải, song DEM Copernicus có độ chính xác mặt bằng và độ cao tốt hơn DEM SRTM. Đồng thời, Copernicus DEM có tính nhất quán toàn cầu cao hơn DEM SRTM. Khi đó, nhiều nghiên cứu trên thế giới cũng đã sử dụng DEM Copernicus trong các nghiên cứu về lũ (Cea *et al.*, 2024; Cuellar *et al.*, 2022). Do đó, việc sử dụng DEM Copernicus trong nghiên cứu này đảm bảo tin cậy. Kết quả các lớp dữ liệu địa hình được xây dựng từ DEM có thể đáp ứng cho các nghiên cứu tiếp theo.

Tóm lại, các lớp dữ liệu địa hình được xây dựng sẽ là nguồn dữ liệu đầu vào cho mô hình nguy cơ lũ lụt tại khu vực nghiên cứu trong thời gian tới. Khi đó, bản đồ nguy cơ lũ lụt và các thông tin liên quan đến mức độ dễ bị tổn thương do lũ lụt sẽ trở thành là một công cụ cơ bản cho các nhà quy hoạch, nhà quản lý để thực hiện việc phòng chống thiên tai cho các khu vực dễ bị lũ lụt.

4. Kết luận

Hiện nay, mặc dù lũ lụt là điều không thể tránh khỏi do các hiện tượng mưa bão cực đoan xảy ra, nhưng các kỹ thuật phân tích và lập bản đồ phân vùng nguy cơ có thể đánh giá và quản lý lũ lụt trong tương lai. Trong đó, việc sử dụng các lớp dữ liệu đầu vào cho mô hình đóng vai trò quan trọng. Nghiên cứu này đã xây dựng sáu lớp dữ liệu về địa hình với kết quả tương quan lẫn nhau giúp nhận diện các vùng có thể xảy ra lũ lụt. Các lớp này sẽ là nguồn dữ liệu đầu vào cho mô hình nguy cơ lũ lụt tại khu vực nghiên cứu trong thời gian tới. Trong các nghiên cứu tiếp theo, các lớp dữ liệu khác như thủy văn, địa chất, sử dụng đất cũng sẽ được thành lập để cung cấp đầy đủ hơn nữa các thông tin cho việc đánh giá các tổn thương và rủi ro do lũ lụt.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin gửi lời cảm ơn sự tài trợ của Dự án GEOSCIRE "Cơ sở hạ tầng dữ liệu GEOdata và khoa học công dân hỗ trợ sự phát triển bền vững cho các cộng đồng nông thôn khu vực tỉnh Quảng Nam" (mã số tài trợ: VN2022TEA533A105).

Tài liệu tham khảo

Beven, K. J., & Kirkby, M. J., 1979. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology / Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant. Hydrological Sciences Bulletin, 24(1), 43-69. doi:10.1080/02626667909491834

Cea, L., Álvarez, M., & Puertas, J., 2024. Using integrated hydrological-hydraulic modelling and global data sources to analyse the February 2023 floods in the Umbeluzi Catchment (Mozambique). Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 24(1), 225-243. doi:10.5194/nhess-24-225-2024

Chen, F., Zhang, M., Zhao, H., Guan, W., & Yang, A., 2024. Pakistan's 2022 floods: Spatial distribution, causes and future trends from Sentinel-1 SAR observations. Remote Sensing of Environment, 304, 114055. doi:https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114055

Chính phủ, 2020. Báo cáo về tình hình phòng, chống thiên tai, bão lũ ở các tỉnh miền Trung số 583/BC-CP ngày 02/11/2020. *https://datafiles.chinhphu.vn/cpp/files/vbpq/2020/11/583.signed.pdf*.

Choubin, B., Moradi, E., Golshan, M., Adamowski, J., Sajedi-Hosseini, F., & Mosavi, A. J. S. o. t. T. E., 2019. An ensemble prediction of flood susceptibility using multivariate discriminant analysis, classification and regression trees, and support vector machines. 651, 2087-2096.

Copernicus Data Space Ecosystem, *https://doi.org/10.5270/ESA-c5d3d65*. Truy cập ngày 20 tháng 6 năm 2025.

Cuellar, A. C., Cenci, L., Santella, C., & Albinet, C., 2022, 17-22 July 2022. Evaluating the Copernicus Dem Dataset Potential for the Identification of (Flash) Flood-Prone Areas by Using a Geomorphological Approach. Paper presented at the IGARSS 2022 - 2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium.

DeVries, B., Huang, C., Armston, J., Huang, W., Jones, J. W., & Lang, M. W., 2020. Rapid and robust monitoring of flood events using Sentinel-1 and Landsat data on the Google Earth Engine. Remote Sensing of Environment, 240, 111664. doi:https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111664

Ghannadi, M. A., Alebooye, S., Izadi, M., & Ghanadi, A., 2023. Vertical accuracy assessment of Copernicus DEM (case study: Tehran and Jam cities). ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., X-4/W1-2022, 209-214. doi:10.5194/isprs-annals-X-4-W1-2022-209-2023

Hammami, S., Zouhri, L., Souissi, D., Souei, A., Zghibi, A., Marzougui, A., & Dlala, M., 2019. Application of the GIS based multi-criteria decision analysis and analytical hierarchy process (AHP) in the flood susceptibility mapping (Tunisia). Arabian Journal of Geosciences, 12(21), 653. doi:10.1007/s12517-019-4754-9

Huang, P.-C., & Lee, K. T., 2021. Influence of topographic features and stream network structure on the spatial distribution of hydrological response. Journal of Hydrology, 603, 126856. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126856

Kurihara, Y., Miyamoto, M., & Sunakawa, R., 2025. Flood direct damage assessment due to Typhoon Ulysses by satellite images. International Journal of Disaster Risk Reduction, 118, 105067. doi:https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2024.105067

Le Duc An, & Vu Thi Thu Lan, 2013. Climate Change's Impact on Natural Hazards in Quang Nam Province, Mid-Central Vietnam. In O. Bruun & T. Casse (Eds.), On the Frontiers of Climate and Environmental Change: Vulnerabilities and Adaptations in Central Vietnam (pp. 91-98). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Li, K., Wu, S., Dai, E., & Xu, Z., 2012. Flood loss analysis and quantitative risk assessment in China. Natural Hazards, 63(2), 737-760. doi:10.1007/s11069-012-0180-y

P, S., Senthilkunar, S., Manivannan, S., & Bajhaiya, A., 2025. Global Flooding Issues, 2024: A Review. Environmental Reports, 7, 27-32. doi:10.51470/ER.2025.7.2.27

Rahman, Z. U., Ullah, W., Bai, S., Ullah, S., Jan, M. A., Khan, M., & Tayyab, M. J. F. i. E. S., 2023. GIS-based flood susceptibility mapping using bivariate statistical model in Swat River Basin, Eastern Hindukush region, Pakistan. 11, 1178540.

Sar, N., Ryngnga, P. K., & De, D. K., 2025. Application of the analytical hierarchy process (AHP) for flood susceptibility mapping using GIS techniques in lower reach of Keleghai River Basin, West Bengal, India. Geohazard Mechanics, 3(2), 123-135. doi:https://doi.org/10.1016/j.ghm.2025.06.002

Sarkar, D., & Mondal, P., 2020. Flood vulnerability mapping using frequency ratio (FR) model: a case study on Kulik river basin, Indo-Bangladesh Barind region. Applied Water Science, 10, 3. doi:10.1007/s13201-019-1102-x

Shrestha, S., Dahal, D., Poudel, B., Banjara, M., & Kalra, A. (2025). Flood Susceptibility Analysis with Integrated Geographic Information System and Analytical Hierarchy Process: A Multi-Criteria Framework for Risk Assessment and Mitigation. Water, 17(7). doi:10.3390/w17070937

Tehrany, M. S., Jones, S., & Shabani, F. J. C., 2019. Identifying the essential flood conditioning factors for flood prone area mapping using machine learning techniques. 175, 174-192.

Thanh Chung, 2021. Bão, lũ năm 2020 khiến miền Trung thiệt hại hơn 36.000 tỉ đồng. Báo lao động điện tử.

Trần Ngọc Ngoạn, & Nguyễn Thị Bích Nguyệt, 2020. Thích ứng với biến đổi khí hậu trong sinh kế trồng trọt của người dân tại tỉnh Quảng Nam. Khoa học xã hội Việt Nam, 6.

Trương Tuyến và nnk, 2022. Biên soạn, bổ sung đặc điểm khí hậu thủy văn tỉnh Quảng Nam (1980-2020). Đề tài cấp tỉnh (thời gian thực hiện 2020-2022).

Uddin, K., Matin, M. A., & Meyer, F. J. (2019). Operational Flood Mapping Using Multi-Temporal Sentinel-1 SAR Images: A Case Study from Bangladesh. Remote Sensing, 11(13). doi:10.3390/rs11131581

Ullah, M., Qureshi, K., ur Rauf, A., & Shah, L., 2024. Advanced floodplain mapping: HEC-RAS and ArcGIS pro application on Swat River. Journal of Umm Al-Qura University for Engineering and Architecture, 15. doi:10.1007/s43995-024-00054-4

USGS, https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-srtm-mission-summary. Truy cập ngày 15 tháng 6 năm 2025.

Establishing topographic data layers from DEM using ArcGIS Pro for flood susceptibility research

Pham Thi Thanh Hoa[1,2], Tran Hong Hanh [1,2*], Luu Thi Dieu Chinh[3]

[1]*Hanoi University of Mining and Geology*

[2]*Geomatics in Earth Sciences Research Group (GES), Hanoi University of Mining and Geology*

[3]*Hanoi University of Civil Engineering*

**Corresponding Author: Email: tranhonghanh@humg.edu.vn*

Abstract

In the context of climate change, natural disasters are increasing in both quantity and level of damage. In Quang Nam (now Da Nang city, Vietnam), flood is assessed to pose a high risk, with many areas experiencing "flood on flood", causing concern for local people and authorities. In particular, in the downstream area of Vu Gia - Thu Bon river, this situation occurs more frequently. Having a flood risk zoning map has become necessary in many studies here, and is also a way to help people have approaches to reduce flood risks. At that time, research needs to identify the causes of floods and build input data layers for flood models. In which, topography is considered an important factor. Therefore, the purpose of this study is to build topographic layers including: elevation, slope, aspect, curvature, topographic wetness index (TWI), topographic position index (TPI) for the areas of cities/towns/districts of Dai Loc, Dien Ban, Duy Xuyen, Hoi An in the former Quang Nam province. The method used is a combination of remote sensing technology and GIS. Remote sensing provides a Digital Elevation Model DEM Copernicus - a free data source with a resolution of 30m. GIS utilizes spatial analysis tools in ArcGIS Pro software to create additional topographic layers from the original DEM data source. The results of the study aim to provide the necessary input factors for building flood susceptibility models in the study area.

Keywords: Flooding; topographic data; GIS; downstream Vu Gia – Thu Bon; Quang Nam.

ỨNG DỤNG FEFLOW MÔ PHỎNG LAN TRUYỀN ẨM VÀ DỊCH CHUYỂN KIM LOẠI NẶNG TRONG ĐỚI KHÔNG BÃO HOÀ

Trần Vũ Long[1,*], Vũ Thu Hiền[1]

[1]Trường Đại học Mỏ - Địa chất

**Tác giả liên hệ: Email: tranvulong@humg.edu.vn*

Tóm tắt

Trong điều kiện thực tế, các chất ô nhiễm, đặc biệt là kim loại nặng, thường phát sinh từ các nguồn như chất thải rắn và nước thải, tồn tại trên bề mặt đất. Để xâm nhập vào tầng chứa nước dưới đất, các chất ô nhiễm này phải di chuyển qua đới không bão hòa, nơi quá trình vận động phụ thuộc chặt chẽ vào sự lan truyền ẩm. Sự lan truyền ẩm trong đất không bão hòa được mô tả bằng phương trình Richards phi tuyến tính. Nghiên cứu này ứng dụng mô hình phần tử hữu hạn (FEM) để mô phỏng quá trình lan truyền ẩm và sự dịch chuyển của các kim loại nặng trong đới không bão hòa tại khu vực cồn cát ven biển xã Tiến Thành, thành phố Phan Thiết, tỉnh Bình Thuận. Mô hình được xây dựng dưới dạng một chiều (1D) nhằm dự báo tốc độ dịch chuyển của các kim loại nặng từ bãi rác xuống mực nước ngầm. Kết quả mô phỏng cho thấy tốc độ xâm nhập của các kim loại nặng phụ thuộc không chỉ vào động Thái Lan truyền ẩm mà còn vào đặc tính hấp phụ của từng kim loại đối với trầm tích. Trong đó, Zn có tốc độ dịch chuyển nhanh nhất, với thời gian khoảng 67 năm để đạt đến tầng chứa nước. Các kim loại khác như Ni, Cd và Pb có tốc độ chậm hơn đáng kể, cần từ 70 đến 130 năm mới có thể xâm nhập đến mực nước ngầm.

***Từ khóa**:* kim loại nặng; mô hình lan truyền ẩm; mô hình hấp phụ; cồn cát ven biển.

1. Đặt vấn đề

Trong các nghiên cứu Địa chất thuỷ văn thì quá trình lan truyền chất ô nhiễm chủ yếu được quan tâm trong môi trường bão hoà nước và ít quan tâm hơn tới môi trường không bão hoà. Tuy nhiên các chất ô nhiễm nói chung và kim loại nặng nói riêng thường tồn tại trên bề mặt đất tại các nguồn ô nhiễm như chất thải rắn và nước thải. Để có thể gây ô nhiễm tới nước dưới đất hay xâm nhập vào tầng chứa nước thì các chất ô nhiễm phải dịch chuyển qua đới không bão hoà. Quy luật dịch chuyển theo phương thẳng đứng trong đới không bão hoà của các loại chất bẩn, trong đó có các kim loại nặng phụ thuộc vào chủng loại của chất bẩn, phương thức ngấm của dung dịch nhiễm bẩn, các loại chất dung môi trong đới không bão hoà, bề dày, thành phần thạch học, độ ẩm và chiều sâu phân bố của nước dưới đất. Các chất nhiễm bẩn đều có tính vật lý, hoá học khác nhau, trong quá trình dịch chuyển thẳng đứng của chúng trong đới không bão hoà sinh ra tác dụng địa hoá khác nhau giữa các lớp đất mà hình thành quy luật dịch chuyển khác nhau.

Sự di chuyển của nước trong đới không bão hoà được mô tả bằng công thức Richards (1931). Khá nhiều mô hình đã được đề xuất để đưa ra lời giải cho công thức này. Mô hình của Van Genuchten (1980) hiện nay được ứng dụng phổ biến trong mô phỏng quá trình lan truyền ẩm. Có nhiều nghiên cứu nhằm xác định các thông số của mô hình này từ các thực nghiệm tại hiện trường hoặc trong phòng của Hardie and Almajmaie (2019); Pang et al. (2000); Silva Junior et al. (2020). Bên cạnh đó quá trình dịch chuyển của kim loại nặng trong đới không bão hoà là rất phức tạp. Các ion kim loai nặng thể hiện khả nặng hấp phụ và hình thành phức kim loại dẫn đến tốc độ dịch chuyển bị khống chế (Holm et al., 1996; Li et al., 2006). Các nghiên cứu khác cũng mô phỏng và dự báo quá trình dịch chuyển của kim loại nặng trong đới không bão hoà, và cũng cho rằng mô hình hấp phụ 2 thành phần là phù hợp với quá trình này (dos Santos et al., 2013). Quá trình lan truyền của kim loại nặng này tuân theo mô hình hấp phụ đẳng nhiệt phi tuyến Freundlich (1906) và mô hình hấp phụ 2 thành phần đẳng nhiệt phi tuyến không cân bằng đề xuất bởi Selim et al. (1987) và Van Genuchten and Wagenet (1989). Các trầm tích và các kim loại nặng được nghiên cứu đã thể hiện rõ thông qua các thí nghiệm thấm cột trong phòng thí nghiệm (Long et al., 2024).

Đối với các khu vực cồn cát ven biển với đặc điểm trầm tích chủ yếu là cát từ trên mặt đất xuống tới các tầng sâu dẫn đến khả năng dễ bị tổn thương do các chất ô nhiễm nói chung và các kim loại nặng nói riêng. Các hoạt động chôn lấp chất thải rắn không được kiểm soát kỹ ngay trên các cồn cát này. Khu vực nghiên cứu được lựa chọn là cồn cát ven biển xã Tiến Thành, huyện Phan Thiết, Bình Thuận nay là phường Tiến Thành, Bình Thuận. Tại khu vực này tồn tại bãi rác Bình Tú với quy mô 14,5ha và mới dừng hoạt động năm 2024. Bãi rác này nằm ngay trên tầng cát hạt mịn mầu đỏ, vàng da cam có tuổi Holocen và bên dưới là tầng cát hạt nhỏ đến trung có tuổi Pleistocen. Nguy cơ ô nhiễm nói chung và kim loại nặng nói riêng tới nước dưới đất tại khu vực nghiên cứu là rất rõ ràng. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng phần mềm FEFLOW mô phỏng quá trình dịch chuyển của 4 kim loại nặng (Pb, Ni, Cd, Zn) trong môi trường không bão hoà. Các thông số mô phỏng dòng chảy và lan truyền kim loại nặng được lấy từ các kết quả thí nghiệm hiện trường cũng như trong phòng thí nghiệm (Long et al., 2024).

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

2.1 Cơ sở lý thuyết lan truyền ẩm trong đới không bão hoà

Chuyển động nước một chiều trong môi trường lỗ rỗng cứng bão hòa một phần được mô tả bằng một dạng biến đổi của phương trình Richards, sử dụng các giả định rằng pha khí đóng vai trò không đáng kể trong quá trình dòng chảy lỏng và dòng chảy nước do các gradient nhiệt có thể bị bỏ qua:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left[K\left(\frac{\partial h}{\partial x} + \cos\alpha\right)\right] - S \quad (1)$$

Trong đó: h là áp suất nước [L], θ là hàm lượng nước thể tích [L^3L^{-3}], t là thời gian [T], x là tọa độ không gian [L] (dương hướng lên trên), S là áp lực hút [$L^3L^{-3}T^{-1}$], α là góc giữa hướng dòng chảy và trục thẳng đứng (tức là, α = 0° cho dòng chảy thẳng đứng, 90° cho dòng chảy ngang, và 0° < α < 90° cho dòng chảy nghiêng), và K là hàm hệ số thấm thủy lực chưa bão hòa [LT^{-1}] được cho bởi

$$K(h,x) = K_s(x)K_r(h,x) \quad (2)$$

Trong đó: K_r là hệ số thấm tương đối [-] và K_s là hệ số thấm bão hòa [LT^{-1}].

Mô hình lan truyền ẩm của Van Genuchten (1980), người đã sử dụng mô hình phân phối kích thước lỗ rỗng thống kê của Mualem (1976) để thu được một phương trình dự đoán cho hàm số hệ số thấm thủy nhiệt không bão hòa theo các tham số giữ nước của đất. Các biểu thức của Van Genuchten (1980) được cho bởi

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1+|ah|^n]^m} & h < 0 \\ \theta_s & h = 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$K(h) = K_s S_e^l \left[1 - \left(1 - S_e^{1/m}\right)^m\right]^2$$

Trong đó: m = 1-1/n, n>1

Các phương trình trên chứa năm tham số độc lập, trong đó: θ_r: Độ ẩm dư; θ_s: độ ẩm bão hoà; α: giá trị nghịch đảo của áp lực hút; n: hệ số hình dạng và K_s: hệ số thấm bão hoà. Tham số kết nối lỗ thông trong hàm số hệ số thấm thủy nhiệt đã được ước tính (Mualem, 1976) là khoảng 0.5 trung bình cho nhiều loại đất.

2.2 Cơ sở lý thuyết mô hình lan truyền kim loại nặng trong nước dưới đất hấp phụ 2 thành phần

Khái niệm về hấp phụ hai thành phần của Selim et al. (1987) và Van Genuchten and Wagenet (1989) xem xét các phản ứng hấp phụ - giải hấp phụ không cân bằng. Khái niệm hấp phụ 2 thành phần giả định rằng các phía hấp phụ có thể được chia thành hai phần:

$$s_k = s_k^e + s_k^k \qquad k\ \varepsilon(1, n_s) \quad (4)$$

Phần loại 1 (s^e_k): Hấp phụ trên phần này được giả định là tức thì.

Phần loại 2 (s^k_k): Hấp phụ trên phần này được xem xét là phụ thuộc vào thời gian.

Trong trường hợp này, hấp phụ (s_k^e) trên một phần của các thành phần (các thành phần loại 1) được giả định là tức thì, trong khi hấp phụ (s_k^k) trên các thành phần còn lại (loại 2) được xem xét là phụ thuộc vào thời gian. Ở trạng thái cân bằng, chúng ta có:

$$s_k^e = f s_k \qquad k\ \varepsilon(1, n_s) \tag{5}$$

$$s_k^k = (1-f) s_k \qquad k\ \varepsilon(1, n_s) \tag{6}$$

Ở đây, f là tỷ lệ của các thành phần trao đổi được giả định ở trạng thái cân bằng với pha dung dịch. Vì các thành phần hấp phụ loại 1 luôn ở trạng thái cân bằng, việc vi phân của phương trình ngay lập tức cho ra tốc độ hấp phụ cho các thành phần cân bằng loại 1.

$$\frac{\partial s_k^e}{\partial t} = f \frac{\partial s_k}{\partial t} \qquad k\ \varepsilon(1, n_s) \tag{7}$$

Hấp phụ trên các thành phần không cân bằng loại 2 được giả định là quá trình tốc độ động học bậc nhất. Theo Toride et al. (1993), phương trình cân bằng khối lượng cho các thành phần loại 2 trong điều kiện có sự sản xuất và phân hủy được cho bởi:

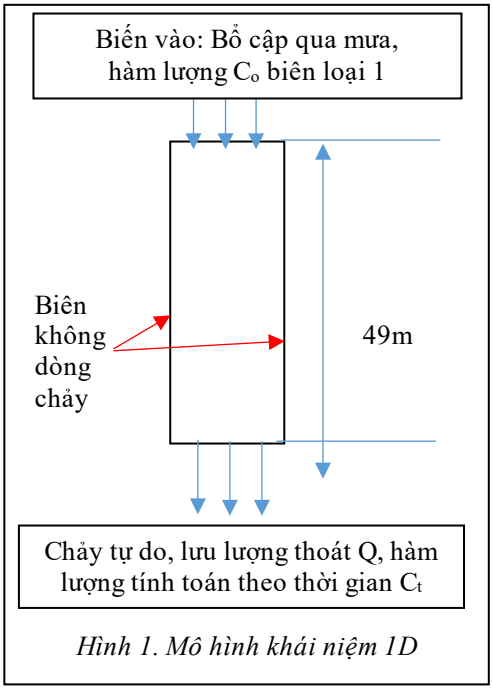
$$\frac{\partial s^k}{\partial t} = \omega_k [(1-f) \frac{k_{s,k} c_k^{\beta_k}}{1+\eta_k c_k^{\beta_k}} - s^k] - (\mu_{s_k} + \mu_{i^s}) s_k^k + (1-f)\gamma_{s,k} \qquad k\ \varepsilon(1, n_s) \tag{8}$$

Trong đó: ω_k là tỷ lệ hằng số bậc 1 cho chất hoà tan k_{th} [T^{-1}]

2.3 Phương pháp nghiên cứu

2.3.1 Xây dựng mô hình dịch chuyển

Để mô phỏng dịch chuyển của kim loại nặng trong khu vực nghiên cứu, mô hình khái niệm hệ thống được thiết lập với các điều kiện biên và đầu vào như hình bên:



Hình 1. Mô hình khái niệm 1D

Mô hình số được thực hiện nhằm mô phỏng lại thí nghiệm trên phần mềm FEFLOW với phương pháp tính toán phần tử hữu hạn 1 chiều.

Thông số mô phỏng có:

- Chiều dài đường thấm: 49m;
- Số lượng phần tử hữu hạn 3320 với 3320 element, 3321 node;
- Thời gian mô phỏng 20 năm;
- Bước thời gian nhỏ nhất 1E-5 phút và lớn nhất là 0.05 ngày;
- Biên hàm lượng không đổi được gán tại phần tử đầu tiên trên cùng của mô hình. Biên này được giả định bằng với hàm lượng kim loại nặng trong nước rác tại thời điểm này. Giá trị hàm lượng này được giả định không đổi trong suốt quá trình mô phỏng. Việc này đồng thời có ý nghĩa mô phỏng trong trường hợp bất lợi nhất là lượng kim loại nặng xâm nhập vào trầm tích không giới hạn.

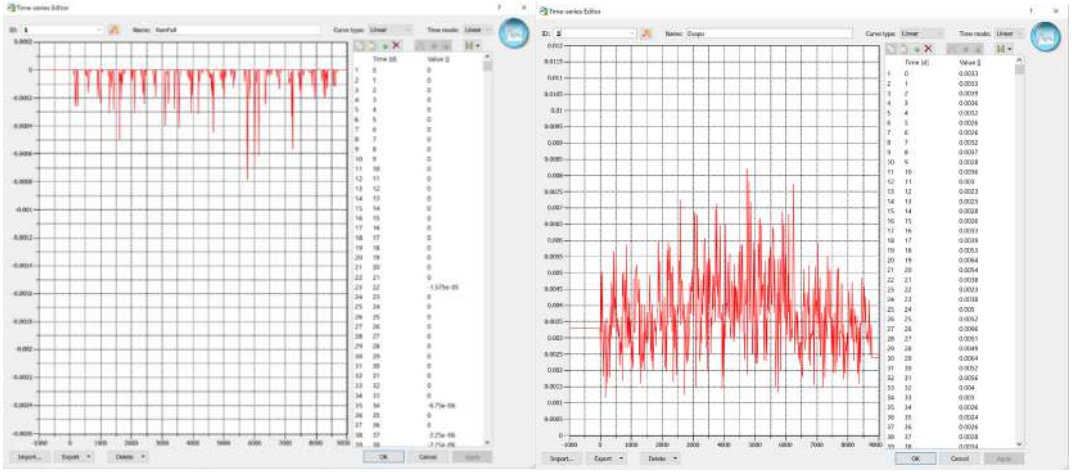
Mô hình dòng chảy được sử dụng là mô hình Van Genuchten (1980) với 5 tham số tính toán.

Mô hình dịch chuyển vật chất được sử dụng là mô hình hấp phụ 2 phía với trạng thái không cân bằng hoá học.

Lượng bổ cập: Lượng bổ cập được xác định theo lượng mưa và được gán vào mô hình với tỷ

lệ bổ cập là 15% lượng mưa thực tế.

Lượng bốc hơi thực tế cũng được đưa vào mô hình, tuy nhiên lượng bốc hơi tính toán được tính toán cuối cùng thông qua độ ẩm của element tính toán



Hình 2. Lượng bổ cập (bên trái) và bốc hơi (bên phải) được đưa vào mô hình tại biên trên

Thông số tính toán dòng chảy không bão hoà Van Genuchten (1980) được dự báo dựa trên số liệu thành phần hạt phân tích tại khu vực nghiên cứu với 5 tham số tính toán:

Water Flow Parameters

Mat	Qr [-]	Qs [-]	Alpha [1/cm]	n [-]	Ks [cm/days]	l [-]
1	0.0481	0.3711	0.023	3.016	432	0.5

Hình 3. Tham số tính toán lan truyền ẩm của dòng chảy không bão hoà

Các thông số dịch chuyển được lấy dựa theo kết quả giải ngược từ các thí nghiệm thấm cột trong phòng thí nghiệm (Long et al., 2024). Các thông số dịch chuyển như sau:

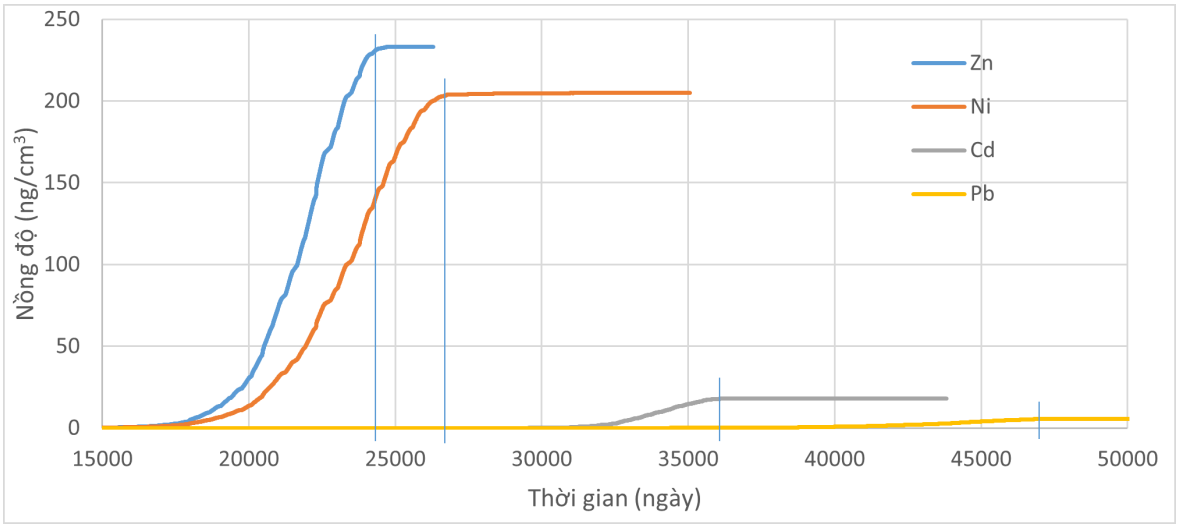
Bảng 1. *Tổng hợp các thông số dịch chuyển kim loại nặng hoà tan, (với α: phân tán, D_L: hệ số phân tán động học, Frac (f): tỷ lệ thành phần 1 và 2, K_d: hệ số phân bố, Beta: hệ số mũ Freundlich, ω: hệ số chuyển khối)*

STT	Kim loại	α (cm)	D_L (cm^2 /phút)	Frac	Kd (cm^3/g)	Beta (hệ số Freundlich)	ω (1/Phút)
1	Cd	0,38	0,34	0,15	1,04	1,04	0,0054
2	Ni	0,34	0,35	0,35	0,39	1,07	0,0083
3	Zn	0,32	0,31	0,33	0,39	1,06	0,01
4	Pb	0,30	0,36	0,34	0,81	1,005	0,021

Các khai báo trong phần mềm FEFLOW khác về tính toán dòng chảy và mô phỏng dịch chuyển hấp phụ cũng được cài đặt theo các thông số bên trên. Thời gian tính toán mô phỏng được lặp lại sau mỗi chu kỳ 20 năm cho tới khi hàm lượng kim loại nặng tại phần tử nằm dưới cùng của mô hình đạt bằng với hàm lượng của phần tử đầu tiên trên cùng của mô hình mô phỏng.

3. Kết quả và thảo luận

Kết quả tính toán cuối cùng mô phỏng được lấy là biến động hàm lượng kim loại nặng tại phần tử nằm dưới cùng của cột mô phỏng. Kết quả tính toán hàm lượng được đưa ra trong đồ thị bên dưới.



Hình 4. Kết quả tính toán mô phỏng cho 4 kim loại nặng

Kết quả mô phỏng (Hình 4) cho thấy có sự khác biệt rõ rệt về thời gian dịch chuyển của các kim loại nặng từ bề mặt đất xuống tầng chứa nước ngầm. Cụ thể, Zn có thời gian ngắn nhất (67 năm), tiếp đến là Ni (73 năm), Cd (98 năm) và lâu nhất là Pb (130 năm). Sự chênh lệch này phản ánh bản chất hóa học cũng như đặc tính hấp phụ khác nhau của từng nguyên tố.

Với Zn và Ni, hệ số phân bố K_d thu được khá thấp (0,39 cm^3/g), cho thấy khả năng hấp phụ yếu, dẫn đến các ion tồn tại chủ yếu ở dạng tự do trong dung dịch và dễ dàng dịch chuyển theo dòng thấm. Trong khi đó, Cd có hệ số K_d cao hơn (1,04 cm^3/g) và hệ số mũ Freundlich β lớn hơn 1, phản ánh xu hướng bị giữ lại nhiều hơn trên bề mặt hạt khoáng, từ đó làm giảm tốc độ di chuyển. Pb mặc dù có K_d trung bình (0,81 cm^3/g), song lại có hệ số chuyển khối động học ω cao nhất (0,021 $phút^{-1}$), chứng tỏ quá trình hấp phụ diễn ra mạnh và nhanh, làm cho tốc độ dịch chuyển tổng thể chậm nhất trong bốn kim loại được nghiên cứu.

Ngoài ra, sự khác biệt này còn có thể lý giải bởi áp lực bề mặt khác nhau của các kim loại. Zn và Ni có tính linh động cao trong môi trường cát ven biển, ít tạo phức bền, trong khi Cd và đặc biệt là Pb có khả năng gắn kết mạnh với khoáng vật sét, oxit Fe-Mn, dẫn tới mức độ giữ lại cao hơn. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trước đây (dos Santos et al., 2013; Holm et al., 1996; Li et al., 2006), vốn cũng chỉ ra rằng Zn thường có tính linh động lớn hơn, còn Pb là nguyên tố khó dịch chuyển nhất trong điều kiện đất cát ven biển.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã ứng dụng thành công mô hình phần tử hữu hạn kết hợp mô hình hấp phụ hai thành phần để mô phỏng quá trình dịch chuyển nước và kim loại nặng trong đới không bão hòa. Kết quả cho thấy sự khác biệt đáng kể về tốc độ dịch chuyển của các kim loại: Zn có thời gian di chuyển nhanh nhất (67 năm), tiếp đến là Ni (73 năm), Cd (98 năm) và chậm nhất là Pb (130 năm). Điều này phản ánh đặc tính hấp phụ khác nhau, trong đó Zn và Ni ít bị giữ lại, trong khi Cd và đặc biệt Pb có ái lực mạnh với bề mặt khoáng.

Mô hình cũng cho thấy tầng chứa nước ngầm bên dưới vẫn có thể an toàn trong ít nhất 10-20 năm, tuy nhiên về lâu dài nguy cơ ô nhiễm vẫn hiện hữu nếu không có các biện pháp bảo vệ. Do đó, việc quản lý, xử lý và cách ly các bãi chôn lấp chất thải trên cồn cát ven biển cần được quan tâm nghiêm ngặt để giảm thiểu rủi ro lan truyền ô nhiễm xuống tầng chứa nước.

Nghiên cứu này được xây dựng dựa trên giả định nồng độ kim loại nặng tại bãi rác không đổi theo thời gian - đây là trường hợp bất lợi nhất. Trong thực tế, hàm lượng có thể giảm dần sau khi bãi rác ngừng hoạt động, dẫn đến nguy cơ thấp hơn. Các nghiên cứu tiếp theo có thể mở rộng sang mô hình 2D/3D, kết hợp thêm các quá trình địa hóa (tạo phức, kết tủa, phân hủy hữu cơ) nhằm nâng cao độ chính xác của dự báo.

Lời cảm ơn

Báo cáo được hoàn thành dưới sự hỗ trợ của Đề tài khoa học mã số: ĐTĐLCN.86/21 với tên: "Nghiên cứu xác định một số thông số đặc trưng cho quá trình dịch chuyển vật chất trong đới bão hòa và không bão hòa nước để dự báo xâm nhập của một số kim loại nặng từ nguồn ô nhiễm vào các tầng chứa nước có thành tạo bở rời".

Tài liệu tham khảo

dos Santos, D. R., Cambier, P., Mallmann, F. J. K., Labanowski, J., Lamy, I., Tessier, D., & van Oort, F. (2013). Prospective modeling with Hydrus-2D of 50 years Zn and Pb movements in low and moderately metal-contaminated agricultural soils. *Journal of contaminant hydrology*, *145*, 54-66.

Freundlich, H. (1906). Over the adsorption in solution. *J. Phys. Chem*, *57*(385471), 1100-1107.

Hardie, M., & Almajmaie, A. (2019). Measuring and estimating the hydrological properties of a soil crust. *Journal of Hydrology*, *574*, 12-22.

Holm, P., Andersen, B., & Christensen, T. (1996). Cadmium solubility in aerobic soils. *Soil science society of America Journal*, *60*(3), 775-780.

Li, H., Wang, J., Teng, Y., & Wang, Z. (2006). Study on the mechanism of transport of heavy metals in soil in western suburb of Beijing. *Chinese Journal of Geochemistry*, *25*(2), 173-177.

Long, T. V., Nhận, Đ. Đ., Lâm, N. V., Bằng, Đ. Đ., & Hiền, V. T. (2024). Xác định thông số dịch chuyển kim loại nặng từ thí nghiệm cột thấm không bão hoà bằng phương pháp mô hình số. Hội nghị Khoa học trái đất và tài nguyên với phát triển bền vững (ERSD 2024), Hà Nội.

Mualem, Y. (1976). A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resources Research*, *12*(3), 513-522.

Pang, L., Close, M. E., Watt, J. P., & Vincent, K. W. (2000). Simulation of picloram, atrazine, and simazine leaching through two New Zealand soils and into groundwater using HYDRUS-2D. *Journal of contaminant hydrology*, *44*(1), 19-46.

Richards, L. A. (1931). Capillary conduction of liquids through porous mediums. *physics*, *1*(5), 318-333.

Selim, H., Schulin, R., & Flühler, H. (1987). Transport and ion exchange of calcium and magnesium in an aggregated soil. *Soil science society of America Journal*, *51*(4), 876-884.

Silva Junior, J. J. d., Colombo, A., Oliveira, G. C., Silva, B. M., & Eugênio, J. E. J. (2020). Estimation of tropical soils' hydraulic properties with inverse method and tension infiltrometer field data. *Revista Ambiente & Água*, *15*.

Toride, N., Leij, F. J., & van Genuchten, M. T. (1993). A comprehensive set of analytical solutions for nonequilibrium solute transport with first‐order decay and zero‐order production. *Water Resources Research*, *29*(7), 2167-2182.

Van Genuchten, M. T. (1980). A closed‐form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil science society of America Journal*, *44*(5), 892-898.

Van Genuchten, M. T., & Wagenet, R. (1989). Two‐site/two‐region models for pesticide transport and degradation: Theoretical development and analytical solutions. *Soil science society of America Journal*, *53*(5), 1303-1310.

FEFLOW application simulates moisture propagation and heavy metal transport in unsaturated zone

Tran Vu Long[1,*], Vu Thu Hien[1]
[1]*Hanoi University of Mining and Geolgy*
**Corresponding author: Email: tranvulong@humg.edu.vn*

Abstract

In practice, pollutants, particularly heavy metals, are commonly released from sources such as solid waste and wastewater, and typically accumulate at the ground surface. To infiltrate into aquifers, these pollutants must migrate through the unsaturated zone, where their transport is closely linked to moisture movement. Moisture transport in unsaturated soils is described by the nonlinear Richards equation. This study applies a finite element model (FEM) to simulate both moisture movement and the transport of heavy metals in the unsaturated zone of the coastal sand dunes in Tiến Thành Commune, Phan Thiết City, Bình Thuận Province. The model was constructed in one dimension (1D) to predict the migration rates of heavy metals from the landfill down to the groundwater table. Simulation results indicate that the migration rates of heavy metals depend not only on moisture dynamics but also on their adsorption characteristics with sediments. Among the studied metals, Zn migrates the fastest, requiring approximately 67 years to reach the groundwater. In contrast, Ni, Pb, and Cd migrate more slowly, taking between 70 and 130 years to infiltrate into the aquifer.

***Keywords**:* Heavy metal, moisture propagation, Sorption model, Coastal sand dune.

ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG XỬ LÝ NƯỚC NHIỄM CÁC LOẠI NHIÊN LIỆU KHÁC NHAU BẰNG VẬT LIỆU CELLULOSE-AEROGEL TỔNG HỢP TỪ QUẢ GÒN

Trương Thị Cẩm Trang[1], Tăng Thế Vinh[2], Nguyễn Đăng Khoa[2,*]

[1]Trường Khoa học Tự nhiên Thành phố Hồ Chí Minh, ĐHQG-Tp.HCM

[2]Trường Đại học Văn Lang

**Tác giả chịu trách nhiệm: Email: khoa.nd@vlu.edu.vn*

Tóm tắt

Nước thải nhiễm nhiên liệu từ hoạt động công nghiệp, dịch vụ và giao thông là vấn đề môi trường cấp thiết tại Việt Nam, gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến hệ sinh thái và sức khỏe cộng đồng. Nghiên cứu này tận dụng nguồn bông gòn tự nhiên giàu cellulose để tổng hợp vật liệu aerogel cấu trúc lỗ xốp ba chiều ổn định bằng kỹ thuật sấy thăng hoa, giúp tăng khả năng hấp phụ cao và giá thành thấp. Trong thí nghiệm xử lý nước, vật liệu cellulose-aerogel cho thấy khả năng loại bỏ nhiên liệu trong nước với hiệu quả cao nhất ở môi trường nhiễm xăng (85,8 - 87,0%), tiếp theo là dầu ăn thải (71,9 - 80,9%) và thấp nhất với nhớt thải (60,8 - 68,0%). Những phát hiện này khẳng định vật liệu cellulose-aerogel hoàn toàn có khả năng loại bỏ các chất ô nhiễm, đồng thời mở ra hướng tận dụng nguồn tài nguyên sinh khối tự nhiên nhằm xây dựng công nghệ thân thiện sinh thái và bền vững.

***Từ khóa**:* Aerogel, Cellulose, Hấp phụ, Nhiên liệu, Nước thải.

1. Đặt vấn đề

Ô nhiễm dầu trong nước đang trở thành một trong những vấn đề môi trường nguy cấp. Nguồn phát sinh chủ yếu đến từ hoạt động sinh hoạt, công nghiệp và dịch vụ, cũng như giao thông vận tải. Các loại dầu này khi xâm nhập vào nguồn nước sẽ tạo lớp màng cản trở trao đổi oxy, gây suy giảm chất lượng nước, ảnh hưởng nghiêm trọng đến hệ sinh thái thủy sinh và sức khỏe con người (Diến, 2008).

Trong những thập niên qua, nhiều công nghệ xử lý nước ô nhiễm nhiên liệu đã được áp dụng như tuyển nổi, keo tụ - tạo bông, màng lọc, oxy hóa bậc cao hay sinh học. Tuy nhiên, các công nghệ này còn tồn tại nhiều hạn chế như chi phí đầu tư và vận hành cao, yêu cầu kỹ thuật phức tạp, nguy cơ tạo ô nhiễm thứ cấp, hoặc khó triển khai ở quy mô nhỏ lẻ (Grobelak và nnk., 2020). Vì vậy, nhu cầu phát triển vật liệu hấp phụ mới, giá rẻ, dễ chế tạo, thân thiện môi trường cần được tập trung.

Tài nguyên tự nhiên xuất phát từ thực vật thể hiện khả năng tách dầu khỏi nước thải thông qua cơ chế chống ưa nước và cấu trúc vi xốp, cho thấy triển vọng ứng dụng làm chất xử lý kinh tế và thân thiện sinh thái. Tuy nhiên, nghiên cứu chủ yếu dừng lại ở việc khảo sát các thông số ảnh hưởng đến quá trình hấp phụ chứ chưa đi sâu vào cải tiến vật liệu nhằm nâng cao hiệu suất xử lý (Lan, 2016; Phạm Thị Dương và nnk., 2010).

Trong bối cảnh đó, trái bông gòn (*Ceiba pentandra*) phổ biến ở Việt Nam và có hàm lượng cellulose khoảng 53% được lựa chọn làm nguyên liệu đầu vào để tổng hợp vật liệu hấp phụ sinh học ứng dụng xử lý nước nhiễm nhiên liệu (Zerga & Tahir, 2022). Sợi bông gòn được chứng minh là một chất hấp phụ triển vọng cho các ứng dụng xử lý ô nhiễm (Zheng và nnk., 2015). Nhằm gia tăng tính tinh khiết và cải thiện sự tương tác với các loại chất ô nhiễm không phân cực, nghiên cứu này chiết tách cellulose từ bông gòn và biến tính hoá học bằng cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) (Tang và nnk., 2023) và sấy thăng hoa để tạo vật liệu cellulose-aerogel để tăng khả năng tiếp xúc với các loại dầu, xăng và nhớt có trong nước (Gong và nnk., 2024). Aerogel nguồn gốc biopolymer, tiêu biểu là cellulose, sở hữu cấu trúc xốp ba chiều với diện tích bề mặt lớn và đặc tính hút thấm nước mạnh, mở ra triển vọng ứng dụng trong xử lý nước ô nhiễm dầu (Muhammad và nnk., 2024; Segneanu và nnk., 2025; Võ Nguyễn Xuân Phương và nnk., 2019; Zhai và nnk., 2024).

Nghiên cứu này đã tiến hành: (i) chiết tách cellulose từ bông gòn thô, (ii) tổng hợp vật liệu cellulose-aerogel, (iii) phân tích thành phần gốc chức bằng FT-IR và hình thái vật liệu bằng SEM, (iv) khảo sát độ ngậm nước và đánh giá hiệu quả xử lý nước nhiễm nhiên liệu tại các nồng độ khác nhau.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

2.1 Chiết tách và biến tính cellulose từ quả bông gòn

Quy trình chiết tách và biến tính cellulose từ sợi bông gòn được tiến hành theo ba giai đoạn chính. Trước hết, sợi bông gòn được làm sạch, loại bỏ tạp chất, sau đó xử lý kiềm bằng dung dịch NaOH 5 wt% ở 90 °C để loại bỏ lignin, hemicellulose, sáp và các hợp chất béo. Mẫu tiếp tục được tẩy trắng bằng hỗn hợp HNO_3 và ethanol (tỉ lệ 1:4, v/v) trong 3 giờ, rửa đến pH trung tính và sấy khô ở 60 °C, thu được cellulose tinh khiết với hiệu suất khoảng 55% so với khối lượng ban đầu. Tiếp theo, cellulose được biến tính trong dung dịch gồm 200 mL NaOH 0,5 M và 1 g CTAB 99%, lắc liên tục trong 48 giờ để phá vỡ cấu trúc sợi. Sau đó, mẫu được ngâm trong ethanol (1:2, w/v) trong 48 giờ nhằm ổn định cấu trúc và loại bỏ CTAB còn sót trong dung dịch. Cuối cùng, để tổng hợp aerogel, cellulose được cấp đông ở -70 °C trong 12 giờ và sấy thăng hoa trong 24 giờ.

2.2 Phân tích đặc tính của vật liệu

2.2.1 Thành phần gốc chức

Việc phân tích bằng phổ hồng ngoại cho phép xác nhận các nhóm chức hoá học trong cấu trúc vật liệu. Phương pháp này cho phép so sánh phổ hấp thụ tại các bước sóng đặc trưng của nguyên liệu bông gòn ban đầu, cellulose sau khi chiết tách và sản phẩm cellulose-aerogel. Từ đó có thể nhận diện các nhóm đặc trưng của cellulose, đồng thời theo dõi sự biến đổi về cường độ hoặc sự biến mất của các dải hấp thụ liên quan đến lignin, hemicellulose và tạp chất sau quá trình xử lý.

2.2.2 Hình thái vật liệu

Quá trình phân tích hình thái cellulose-aerogel được thực hiện với hiển vi điện tử quét (SEM), tập trung vào cả bề mặt và tiết diện ngang để làm sáng tỏ cấu trúc vi mô của vật liệu.

2.2.3 Độ ngậm nước

Để xác định độ ngậm nước của vật liệu cellulose-aerogel, trước hết tiến hành cân chính xác một khối lượng mẫu khô ban đầu. Mẫu sau đó được ngâm hoàn toàn trong nước ở điều kiện thường. Tại các khoảng thời gian xác định, lấy mẫu ra, thấm nhanh bề mặt bằng giấy để loại bỏ lượng nước dư bám ngoài, rồi cân lại khối lượng. Quá trình này được lặp lại cho đến khi vật liệu đạt trạng thái bão hòa sau 24 giờ. Độ ngậm nước S_w (%) của cellulose-aerogel được tính toán dựa trên sự chênh lệch giữa khối lượng mẫu sau ngâm và khối lượng khô ban đầu.

$$S_w = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

trong đó: S_w - độ ngậm nước của vật liệu (%); m - khối lượng sau một khoảng thời gian tiếp xúc (g); m_0 - khối lượng ban đầu (g);

2.3 Đánh giá khả năng xử lý nước nhiễm nhiên liệu

Ba loại nhiên liệu được lựa chọn bao gồm dầu ăn thải, xăng và nhớt thải. Dầu ăn thải được thu gom từ một cửa hàng dịch vụ ăn uống tại phường Trung Dũng, TP. Biên Hòa, Đồng Nai, đại diện cho nguồn dầu mỡ sinh hoạt sau sử dụng. Xăng được mua trực tiếp tại cửa hàng xăng dầu thuộc phường Đông Hòa, TP. Dĩ An, Bình Dương; loại nhiên liệu này thường phát sinh tình trạng ô nhiễm khi trong quá trình bơm chuyển từ xà lan xuống kho bãi, nước được trộn vào để bơm dưới mốc an toàn, sau đó lượng nước lẫn xăng được thải ra bên ngoài, gây ô nhiễm các khu vực xung quanh. Nhớt thải được thu sau lần thay nhớt xe định kỳ của sinh viên tại một cửa hàng sửa chữa xe máy ở phường Tân Hạnh, TP. Biên Hòa, Đồng Nai, đại diện cho nguồn phát sinh từ hoạt động giao thông vận tải. Việc lựa chọn ba loại nhiên liệu này nhằm phản ánh đặc trưng của các nguồn gây ô nhiễm dầu phổ biến trong thực tiễn đời sống và sản xuất.

Trong thí nghiệm này, 0,1 g vật liệu cellulose-aerogel được cho vào ba mẫu nước (pH trung tính, 6) có xăng, dầu ăn thải và nhớt thải tại các nồng độ xác định 50, 100 và 200 mL/L tại 27°C. Sau 1 giờ, vật liệu được lấy ra, thấm khô bề mặt bằng giấy lọc để loại bỏ nhiên liệu bám ngoài, rồi cân lại khối lượng. Độ thấm hút S_f (%) và hiệu suất xử lý η (%) so với khả năng ngậm nước ban đầu được tính toán để đánh giá hiệu quả hấp phụ của vật liệu:

$$S_f\ (\%) = \frac{m_f - m_0}{m_0} \times 100 \quad (2)$$

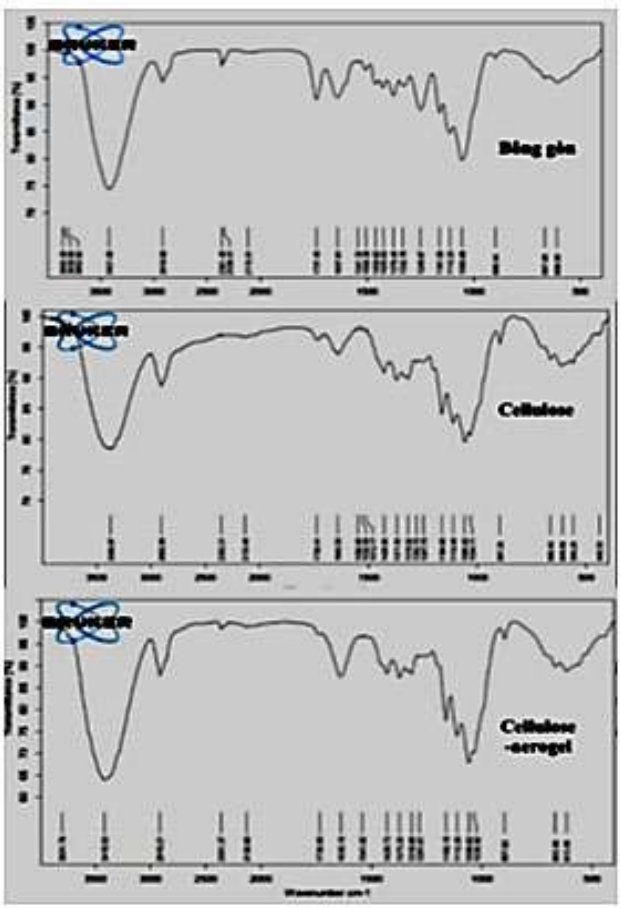
$$\eta\ (\%) = \frac{S_f}{S_w} \times 100 \quad (3)$$

Trong đó: S_f - độ ngậm nhiên liệu của vật liệu sau 1 h (%); η - hiệu suất so với S_w (%);
m_f - khối lượng sau 1 h (g); m_0 - khối lượng ban đầu (g);

3. Kết quả và thảo luận

3.1 Thành phần gốc chức

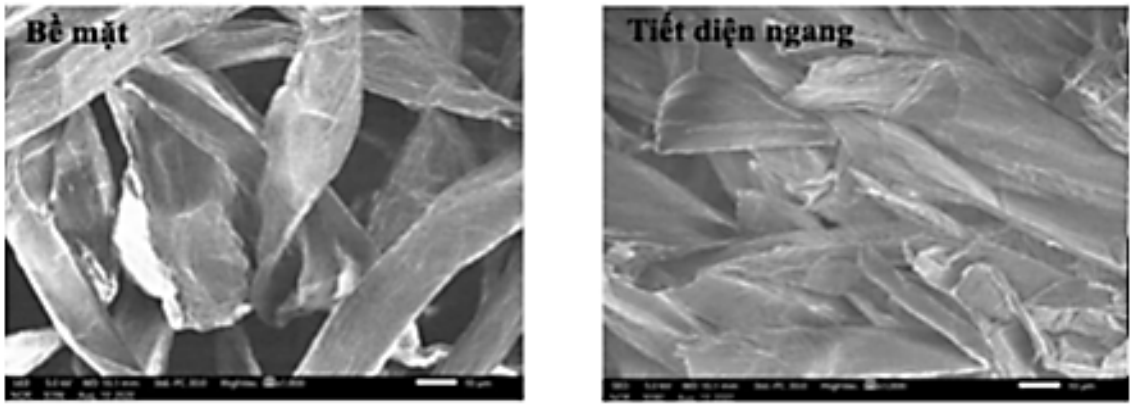
Kết quả phổ FT-IR chỉ ra rằng mẫu bông gòn ban đầu còn chứa nhiều tạp chất ngoài cellulose, thể hiện qua các đỉnh hấp thụ đặc trưng của lignin và hemicellulose như dải C=O (1730 cm^{-1}) và C=C thơm (1510 cm^{-1}). Sau quá trình xử lý kiềm và tẩy trắng, các đỉnh này biến mất, trong khi các đỉnh đặc trưng của cellulose vẫn được bảo toàn, gồm dao động -OH (3330 cm^{-1}), C-H (2900 cm^{-1}) và C-O-C (1050 cm^{-1}), chứng tỏ đã thu được cellulose tinh khiết. Ở mẫu cellulose-aerogel, các đỉnh đặc trưng của cellulose tiếp tục xuất hiện với cường độ và độ rộng dải -OH thay đổi nhẹ, phản ánh sự biến đổi trong liên kết hydro, đồng thời khẳng định cấu trúc hóa học cơ bản được duy trì và hình thành mạng lưới rỗng xốp ba chiều đặc trưng của aerogel. Kết quả phổ FT-IR được thể hiện ở Hình 1.



Hình 1. Phổ FT-IR của bông gòn, cellulose và cellulose-aerogel

3.2 Hình thái vật liệu

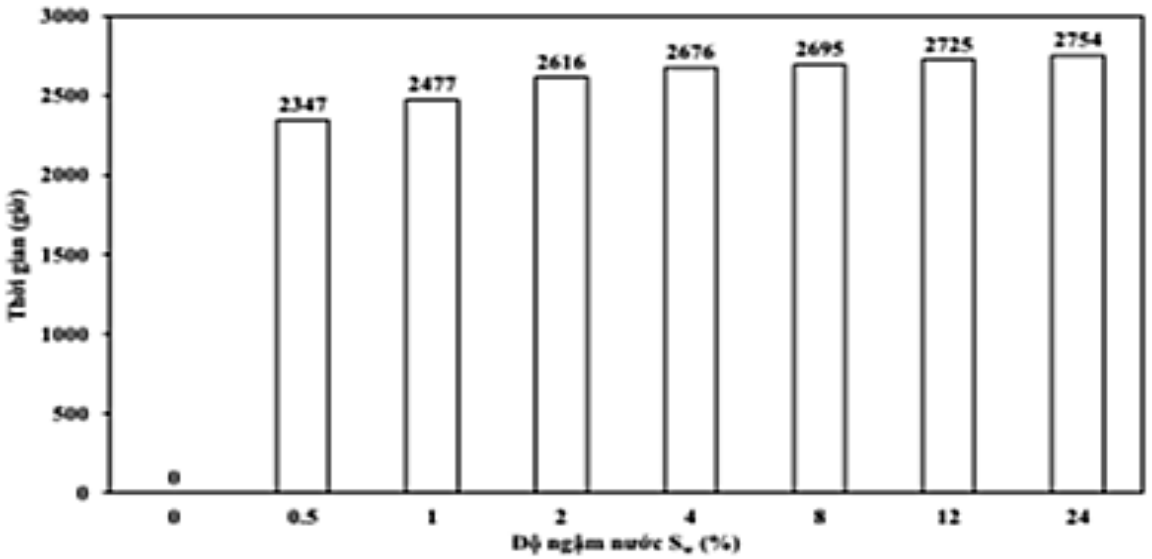
Hình ảnh SEM cho thấy vật liệu cellulose-aerogel có cấu trúc đặc trưng dạng mạng lưới rỗng xốp. Ở bề mặt, các sợi cellulose đan xen và liên kết lỏng lẻo, tạo nên nhiều khe hở và mao quản, góp phần cải thiện diện tích bề mặt tiếp xúc và hỗ trợ đặc tính hút thấm của vật liệu. Quan sát tiết diện ngang cho thấy cấu trúc lớp sợi chồng xếp, sắp xếp không đồng nhất nhưng vẫn duy trì được sự thông suốt của các lỗ rỗng bên trong vật liệu. Sự kết hợp này giúp vật liệu vừa đảm bảo độ bền cơ học, vừa giữ được hệ mao quản mở, nhờ đó tối ưu quá trình thấm hút các loại nhiên liệu có trong môi trường.



Hình 2. Hình SEM bề mặt và tiết diện ngang của vật liệu cellulose-aerogel tại độ phóng đại 1000×

3.3 Độ ngậm nước

Sự thấm hút nước mạnh trong khoảng 1 giờ của cellulose-aerogel bắt nguồn từ cấu trúc mạng lưới không gian ba chiều, diện tích bề mặt lớn cùng các nhóm hydroxyl dồi dào (-OH). Các nhóm này hình thành liên kết hydro mạnh với phân tử nước, giúp nước nhanh chóng thấm vào các mao quản. Do đó, giá trị ngậm nước đạt hơn 90% chỉ sau 1 giờ. Từ sau mốc 1 - 2 giờ, tốc độ hấp phụ giảm dần vì hầu hết các lỗ xốp đã được lấp đầy, lượng nhóm -OH tự do còn lại ít, và mạng lưới bên trong dần bão hòa. Quá trình tiếp tục chậm chạp đến 24 giờ, khi đạt cân bằng với giá trị ngậm nước cực đại, đạt 2754%.

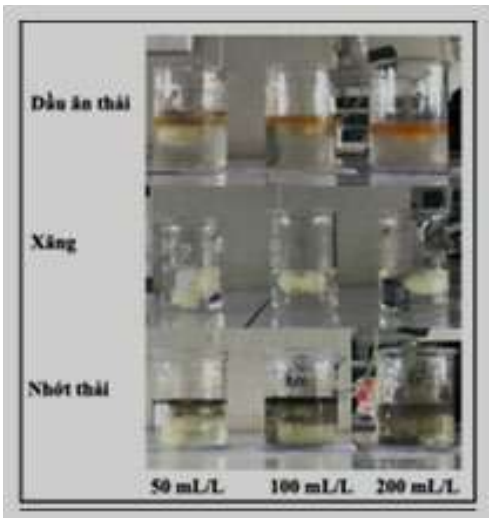


Hình 3. Độ ngậm nước của vật liệu cellulose-aerogel theo thời gian

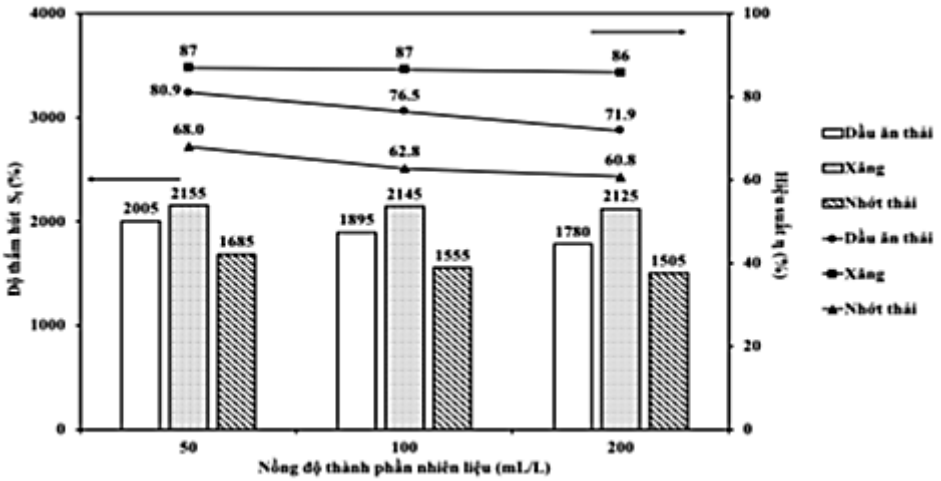
3.3 Khả năng xử lý nước nhiễm nhiên liệu

Hình 4 miêu tả quá trình thấm hút các loại nhiên liệu khác nhau bằng vật liệu cellulose-aerogel. Khi nồng độ nhiên liệu có trong nước tăng từ 50 lên 200 mL/L, độ thấm hút và hiệu suất xử lý của

cellulose-aerogel trong cả ba môi trường xăng, dầu ăn thải và nhớt thải đều giảm dần. Trong đó, hiệu quả xử lý cao nhất đạt được ở môi trường nhiễm xăng (85,8 - 87,0%), tiếp theo là dầu ăn thải (71, 9 - 80,9%), trong khi nhớt thải cho kết quả thấp nhất (60,8 - 68,0%). Sự suy giảm này chủ yếu do ở nồng độ cao, lớp nhiên liệu dày và nhớt bao phủ bề mặt làm hạn chế sự tiếp xúc giữa vật liệu và nước, khiến khả năng hút thấm giảm (Omar và nnk., 2023). Ngoài ra, sự khác biệt giữa ba loại nhiên liệu được giải thích bởi đặc tính hóa lý riêng. Ví dụ xăng có độ nhớt thấp, dễ khuếch tán nên dễ hấp phụ; dầu ăn thải có độ nhớt cao và chứa nhiều tạp chất hữu cơ gây cản trở; còn nhớt thải chứa nhiều phụ gia và kim loại nặng, làm bít mao quản, dẫn đến hiệu suất thấp hơn rõ rệt (Mohammad và nnk., 2021). Kết quả này phù hợp với xu hướng trước đây (Nguyen và nnk., 2013). Hình 5 minh hoạ cho vật liệu cellulose-aerogel sau khi ngâm trong các loại môi trường sau 1 giờ và kết quả tương ứng.



Hình 4. Vật liệu cellulose-aerogel sau khi ngâm trong các loại môi trường



Hình 5. Độ thấm hút và hiệu suất của vật liệu cellulose-aerogel sau khi ngâm trong các loại môi trường

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, bông gòn, một nguồn nguyên liệu tự nhiên sẵn có, đã được lựa chọn để tách chiết cellulose và phát triển thành vật liệu aerogel. Quá trình tổng hợp cho thấy cellulose-aerogel thu được có cấu trúc rỗng xốp ba chiều ổn định, diện tích bề mặt phát triển và khả năng ngậm nước vượt trội. Những đặc tính này không chỉ khẳng định tiềm năng của aerogel từ cellulose trong hấp phụ và xử lý nước ô nhiễm, mà còn mở ra hướng ứng dụng bền vững, giá thành thấp cho các công nghệ môi trường. Phân tích FT-IR và SEM khẳng định quá trình xử lý đã loại bỏ phần lớn lignin, hemicellulose và tạp chất, đồng thời bảo toàn cấu trúc cellulose, góp phần hình thành

aerogel bền vững với đặc tính hấp phụ tương ứng. Kết quả thí nghiệm cho thấy vật liệu có khả năng xử lý hiệu quả nước nhiễm nhiên liệu với khả năng chọn lọc khác nhau. Kết quả nghiên cứu cho thấy cellulose-aerogel có tiềm năng ứng dụng trong xử lý nước nhiễm nhiên liệu và kiểm soát sự cố tràn dầu. Để tiến tới triển khai thực tiễn, cần thực hiện thêm các nghiên cứu về khả năng tái sử dụng, độ bền cơ học cũng như hiệu quả xử lý trong điều kiện dòng chảy thực tế và môi trường chứa nhiều tạp chất phức tạp. Bên cạnh đó, việc biến tính cellulose bằng cách kết hợp với các vật liệu vô cơ hoặc polyme chức năng nhằm nâng cao tính chọn lọc và khả năng tái sinh hứa hẹn sẽ mở ra những hướng phát triển quan trọng trong tương lai.

Tài liệu tham khảo

Diến, N. B., 2008. Tổng quan pháp luật Việt Nam về phòng, chống ô nhiễm dầu ở các vùng biển. *VNU Journal of Economics and Business*, *24*, pp 244-238.

Gong, X., Ismail, M. F., & Boluk, Y., 2024. Interactions between Cetyltrimethylammonium Bromide Modified Cellulose Nanocrystals and Surfaces: An Ellipsometric Study. *Surfaces*, *7*, pp 428-441.

Grobelak, A., Worwąg, M., & Grosser, A., 2020. Removal of total petroleum hydrocarbons from wastewater and sewage sludge generated in oil separators and evaluation of the process efficiency. *Desalination and Water Treatment*, *199*, pp 205-211.

Lan, P. T. N., 2016. Khảo sát, đánh giá khả năng xử lý dầu loang bằng vật liệu hấp phụ tự nhiên. *Trường Đại học Thủy Lợi 56*, pp 69-76.

Mohammad, A. F., Mourad, A. A. H. I., Galiwango, E., Lwisa, E. G., Al-Marzouqi, A. H., El-Naas, M. H., Van der Bruggen, B., & Al-Marzouqi, M. H., 2021. Effective and sustainable adsorbent materials for oil spill cleanup based on a multistage desalination process. *Journal of Environmental Management*, *299*, pp 113652.

Muhammad, S., Albadn, Y. M., Yahya, E. B., Nasr, S., Khalil, H. P. S. A., Ahmad, M. I., & Kamaruddin, M. A., 2024. Trends in enhancing the efficiency of biomass-based aerogels for oil spill clean-up. *Giant*, *18*, pp 100249.

Nguyen, S. T., Feng, J., Le, N. T., Le, A. T. T., Hoang, N., Tan, V. B. C., & Duong, H. M., 2013. Cellulose Aerogel from Paper Waste for Crude Oil Spill Cleaning. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, *52*, pp 18386-18391.

Omar, B. M., Abdelgalil, S. A., Fakhry, H., Tamer, T. M., & El-Sonbati, M. A., 2023. Wheat husk-based sorbent as an economical solution for removal of oil spills from sea water. *Scientific Reports*, *13*, pp 2575.

Phạm Thị Dương, Bùi Đình Hoàng, & Tám, N. V., 2010. Nghiên cứu khả năng hấp phụ dầu trong nước thải bằng các vật liệu tự nhiên như thân bèo, lõi ngô, rơm và xơ dừa. *Tạp chí khoa học Hàng hải*, *24*, pp 67.

Segneanu, A.-E., Herea, D.-D., Buema, G., Bradu, I. A., Cepan, M., & Grozescu, I., 2025. Advanced Aerogels for Water Remediation: Unraveling Their Potential in Fats, Oils, and Grease Sorption—A Comprehensive Review. *Gels*, *11*, pp 268.

Tang, W., Ling, Z., Huang, C., & He, Y.-C., 2023. Utilizing cetyltrimethylammonium bromide assisted alkali pretreatment to improve monosaccharide production of wheat straw by intensifying lignin extraction. *Fuel*, *352*, pp 129002.

Võ Nguyễn Xuân Phương, Lương Ngọc Thủy, Lê Phúc Nguyên, & Lương, N. H., 2019. Nghiên cứu tổng hợp và đánh giá vật liệu siêu xốp ứng dụng xử lý dầu tràn dựa trên cellulose tự nhiên trích ly từ giấy thải. *Tạp chí Dầu khí*, *3*, pp 52-61.

Zerga, A. Y., & Tahir, M., 2022. Biobased Kapok Fiber Nano-Structure for Energy and Environment Application: A Critical Review. *Molecules*, *27*, pp 8107.

Zhai, Y., Yuan, X., Weber, C. C., Varley, R. J., & Henderson, L. C., 2024. Review of plant cellulose-based aerogel materials for oil/water mixture separation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *12*, pp 113716.

Zheng, Y., Wang, J., Zhu, Y., & Wang, A., 2015. Research and application of kapok fiber as an absorbing material: A mini review. *Journal of Environmental Sciences*, *27*, pp 21-32.

Kapok-fiber-based Cellulose Aerogels for treating Fuel-contaminated Water

Truong Thi Cam Trang[1], Tang The Vinh[2], Nguyen Dang Khoa[2,*]
[1]*Ho Chi Minh University of Science, Vietnam National University Ho Chi Minh City*
[2]*Van Lang University*
**Corresponding author: Email: khoa.nd@vlu.edu.vn*

Abstract

Fuel-contaminated wastewater from industrial, service, and transportation activities represents a pressing environmental issue in Vietnam, posing severe risks to ecosystems and public health. This study explores the use of natural kapok fibers, rich in cellulose, to synthesize a three-dimensional porous aerogel via freeze-drying, yielding a low-cost material with enhanced adsorption capacity. In treatment experiments, the cellulose-aerogel achieved the highest removal efficiency in gasoline-contaminated water (85.8 - 87.0%), followed by waste cooking oil (71.9 - 80.9%) and used lubricants (60.8 - 68.0%). These findings highlight the potential of cellulose-aerogels for wastewater treatment and oil-spill response, while simultaneously valorizing abundant biomass resources to advance sustainable and environmentally friendly solutions.

Keywords: Aerogel; cellulose; adsorption; fuel; wastewater.

CƠ SỞ DỮ LIỆU NỀN ĐỊA LÝ TỶ LỆ LỚN - NỀN TẢNG PHỤC VỤ QUẢN LÝ KHÔNG GIAN BỀN VỮNG KHU VỰC PHÚC THỌ, HÀ NỘI

Trần Hồng Hạnh[1,*]

[1]*Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

**Tác giả liên hệ: Email: tranhonghanh@humg.edu.vn*

Tóm tắt

Nghiên cứu có mục đích xây dựng cơ sở dữ liệu nền địa lý tỷ lệ lớn phục vụ quản lý không gian bền vững tại khu vực Phúc Thọ (trước sáp nhập) thuộc thành phố Hà Nội, nơi có nhiều biến động về kinh tế - xã hội và sử dụng đất. Phương pháp được áp dụng là sự kết hợp công nghệ bay chụp ảnh số, quét LiDAR, đo GPS/IMU, điều tra ngoại nghiệp, sau đó xử lý và chuẩn hóa dữ liệu theo hệ tọa độ VN-2000. Kết quả chính là bộ cơ sở dữ liệu gồm các lớp khống chế trắc địa, thủy văn, giao thông, địa hình, hạ tầng dân cư và hạ tầng kỹ thuật, ranh giới hành chính và thực phủ. Cơ sở dữ liệu nền địa lý này là nền tảng quan trọng để tích hợp, khai thác và phục vụ hiệu quả cho quản lý không gian bền vững trong hiện tại và tương lai tại khu vực nghiên cứu. Bộ dữ liệu sẽ hữu ích cho các cơ quan quản lý, đơn vị quy hoạch, doanh nghiệp và cộng đồng địa phương trong quá trình phát triển bền vững.

***Từ khóa**:* Cơ sở dữ liệu nền địa lý, quản lý không gian, bền vững, Phúc Thọ, Hà Nội.

1. Đặt vấn đề

Việc nghiên cứu và thành lập cơ sở dữ liệu nền địa lý tỷ lệ lớn là một nhu cầu cấp thiết trong bối cảnh phát triển đô thị và nông thôn nhanh chóng và phức tạp. Sự gia tăng dân số, mở rộng khu dân cư, phát triển hạ tầng kỹ thuật và các dự án quy hoạch đòi hỏi một nguồn thông tin không gian chính xác, chuẩn hóa và cập nhật thường xuyên để hỗ trợ ra quyết định hiệu quả. Không có một cơ sở dữ liệu nền thống nhất, các cơ quan quản lý dễ gặp phải tình trạng dữ liệu phân tán, thiếu đồng bộ và khó đánh giá toàn diện các tác động tới không gian, tài nguyên và môi trường.

Cơ sở dữ liệu nền địa lý tỷ lệ lớn là công cụ quan trọng phục vụ quản lý không gian bền vững (Đỗ Thị Thu Thủy và nnk., 2022). Nó cung cấp khung tham chiếu chính xác cho các hoạt động quy hoạch, quản lý đất đai, xây dựng hạ tầng và giám sát môi trường. Nhờ khả năng tích hợp các lớp thông tin về dân cư, hạ tầng, đất đai và môi trường, dữ liệu nền giúp phân tích mối quan hệ không gian, nhận diện các xung đột quy hoạch, từ đó đề xuất các giải pháp quản lý phù hợp, tiết kiệm tài nguyên và đảm bảo cân bằng sinh thái.

Đặc biệt tại khu vực huyện Phúc Thọ (trước sáp nhập) thuộc thành phố Hà Nội, nơi tốc độ đô thị hóa đang diễn ra nhanh chóng, việc xây dựng cơ sở dữ liệu nền địa lý tỷ lệ lớn không chỉ nâng cao hiệu quả quản lý mà còn tạo điều kiện minh bạch hóa thông tin, tăng cường khả năng tham gia của cộng đồng và doanh nghiệp vào các quyết định phát triển. Tính cấp thiết này xuất phát từ nhu cầu lập kế hoạch phát triển bền vững, giảm thiểu xung đột sử dụng đất, bảo vệ môi trường và thúc đẩy sự đồng thuận xã hội trong quá trình phát triển kinh tế, xã hội của khu vực.

Trên thế giới, việc nghiên cứu và thành lập cơ sở dữ liệu nền địa lý tỷ lệ lớn đã trở thành một hướng đi quan trọng trong quản lý đô thị và phát triển bền vững (Wu Jiayang et al., 2024). Nhiều quốc gia đã triển khai các hệ thống thông tin địa lý để hỗ trợ quản lý không gian, quy hoạch đô thị, giám sát môi trường, quản lý hạ tầng và phát triển các thành phố thông minh (Aiymeku Tigist Girum et al., 2025; Attah Rita Uchenna et al., 2024; Osakwe Jude et al., 2025; Shah Raza, 2025).

Những hệ thống này cho phép tích hợp dữ liệu đa ngành, từ dân cư, giao thông, đất đai đến môi trường, giúp các cơ quan quản lý đưa ra quyết định dựa trên thông tin chính xác và minh bạch. Ứng dụng công nghệ mới như trí tuệ nhân tạo và thực tế tăng cường cũng được kết hợp với dữ liệu nền địa lý để nâng cao khả năng phân tích, trực quan hóa và tham gia cộng đồng trong các dự án quy hoạch và quản lý đô thị.

Sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ GIS và cơ sở dữ liệu nền địa lý trên thế giới phản ánh nhu cầu cấp thiết về quản lý không gian bền vững (Gorjian, 2025). Các thành phố và quốc gia nhận thấy rằng việc xây dựng một cơ sở dữ liệu nền chuẩn hóa giúp đồng bộ hóa thông tin giữa các ngành, cải thiện hiệu quả quản lý đất đai, hạ tầng và môi trường, đồng thời tạo điều kiện cho việc minh bạch hóa thông tin và tăng cường sự tham gia của cộng đồng. Nhờ vậy, cơ sở dữ liệu nền địa lý không chỉ là công cụ quản lý mà còn là nền tảng cho phát triển đô thị thông minh và hướng tới bền vững lâu dài.

Tại Việt Nam, việc nghiên cứu và triển khai cơ sở dữ liệu nền địa lý tỷ lệ lớn đã được nhận thức rõ ràng trong các chính sách quốc gia nhằm phục vụ quản lý không gian bền vững. Các nghiên cứu về việc xây dựng cơ sở dữ liệu nền địa lý cũng như cơ sở dữ liệu địa lý trong nghiên cứu quản lý không gian, quy hoạch đô thị, phát triển bền vững (Đỗ Thị Thu Thủy và nnk, 2022; Hoàng Dương Huấn, 2021; Nguyễn Bích Ngọc và nnk, 2014; Nguyễn Văn Thành, & Tạ Văn Phấn, 2025). Các bộ, ngành và địa phương đã và đang triển khai các dự án xây dựng cơ sở dữ liệu nền địa lý tỷ lệ lớn, phục vụ cho quy hoạch, quản lý đất đai, hạ tầng và môi trường, góp phần thúc đẩy phát triển đô thị thông minh và bền vững.

Tuy nhiên, thực tế triển khai tại các địa phương còn gặp nhiều thách thức. Mặc dù đã có những bước tiến trong việc xây dựng cơ sở dữ liệu nền địa lý, nhưng chất lượng và độ đồng bộ của dữ liệu vẫn còn hạn chế. Nhiều dữ liệu chưa được cập nhật kịp thời, thiếu tính liên thông giữa các ngành và địa phương, dẫn đến việc khai thác và sử dụng chưa hiệu quả. Đặc biệt, thiếu cơ chế khuyến khích và phối hợp giữa các tổ chức, cá nhân trong việc chia sẻ và cập nhật dữ liệu không gian địa lý, gây lãng phí nguồn lực và chồng chéo trong xây dựng dữ liệu. Để khắc phục tình trạng này, cần có một lộ trình và định hướng khoa học cụ thể, cùng với việc xây dựng khung pháp lý và chuẩn dữ liệu thống nhất, nhằm đảm bảo tính hiệu quả và bền vững trong quản lý không gian tại Việt Nam.

Từ những phân tích trên, có thể thấy việc nghiên cứu và thành lập cơ sở dữ liệu nền địa lý tỷ lệ lớn tại huyện Phúc Thọ là nhu cầu cấp thiết để đáp ứng yêu cầu quản lý không gian hiện đại và bền vững. CSDL nền địa lý không chỉ cung cấp thông tin chính xác, chuẩn hóa và đồng bộ, mà còn tạo cơ sở để minh bạch hóa dữ liệu, tăng cường sự tham gia của cộng đồng và doanh nghiệp vào quá trình quản lý. Việc xây dựng nền tảng dữ liệu này sẽ góp phần nâng cao hiệu quả quy hoạch, quản lý đất đai, phát triển hạ tầng và bảo vệ môi trường, đồng thời là tiền đề quan trọng để thúc đẩy phát triển đô thị thông minh và bền vững tại Phúc Thọ.

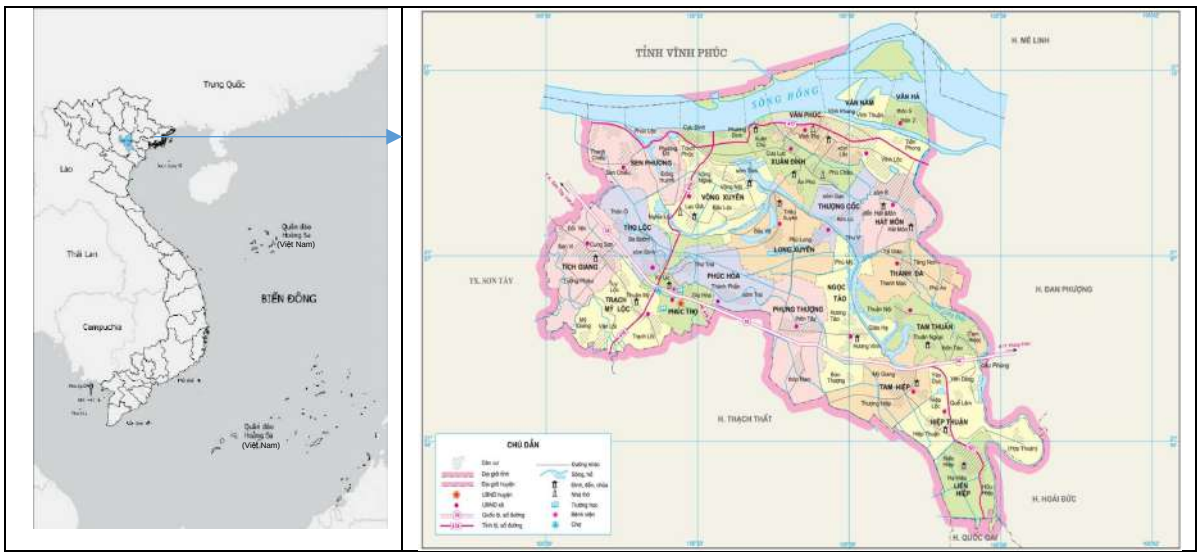
2. Khu vực và phương pháp nghiên cứu

2.1 Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu được lựa chọn để xây dựng cơ sở dữ liệu nền địa lý tỷ lệ 1/2000 thuộc huyện Phúc Thọ (trước khi sáp nhập), thành phố Hà Nội (Hình 1). Đây là khu vực nằm trong vùng khí hậu nhiệt đới gió mùa, với đặc trưng bốn mùa rõ rệt: xuân, hạ, thu, đông; nhiệt độ trung bình năm khoảng 22-23°C và độ ẩm dao động từ 71-85% (Cơ quan thống kê Quốc gia,

https://www.nso.gov.vn/). Về địa hình, Phúc Thọ thuộc đồng bằng Bắc Bộ, có xu thế thấp dần từ tây sang đông, độ cao trung bình dao động từ 3-10 m, trong đó khu vực phía tây tồn tại các đồi thấp với độ cao từ 10-52 m, phân bố hẹp và diện tích nhỏ, phản ánh sự chuyển tiếp giữa đồng bằng và vùng núi thấp Bắc Trung Bộ. Những đặc điểm tự nhiên này tạo nên cơ sở quan trọng cho việc nghiên cứu, quản lý và xây dựng cơ sở dữ liệu địa lý có độ chính xác cao, phù hợp với điều kiện thực tế.

Trong bối cảnh khu vực Phúc Thọ đang trong quá trình công nghiệp hóa, hiện đại hóa với nhiều biến động về kinh tế - xã hội và cơ cấu không gian lãnh thổ. Hệ thống hạ tầng giao thông phát triển mạnh, với quốc lộ 32 chạy dọc phía nam huyện theo hướng Đông Bắc - Tây Nam, cùng với tuyến đường thủy quan trọng là sông Hồng. Khu vực này đang chứng kiến sự gia tăng nhanh chóng của các khu đô thị mới, khu công nghiệp và các công trình dịch vụ. Sự thay đổi mạnh mẽ về cơ cấu kinh tế, tỷ trọng ngành nghề và nhu cầu quản lý lãnh thổ đặt ra yêu cầu cấp thiết trong việc xây dựng, cập nhật và chuẩn hóa dữ liệu nền địa lý ở tỷ lệ lớn. Đây là cơ sở khoa học và thực tiễn quan trọng nhằm phục vụ công tác quy hoạch, quản lý không gian và phát triển kinh tế - xã hội của khu vực nghiên cứu Phúc Thọ nói riêng, cũng như thành phố Hà Nội mở rộng nói chung.



Hình 1. Khu vực nghiên cứu thuộc huyện Phúc Thọ (trước sáp nhập), thành phố Hà Nội (Thành ủy Hà Nội, https://thanhuyhanoi.vn/)

2.2 Phương pháp nghiên cứu

Việc xây dựng cơ sở dữ liệu nền địa lý tỷ lệ 1/2000 cho khu vực Phúc Thọ (trước sáp nhập), Hà Nội được triển khai dựa trên sự kết hợp chặt chẽ giữa các phương pháp đo đạc truyền thống và công nghệ số hiện đại. Mục tiêu của phương pháp nghiên cứu không chỉ dừng lại ở việc tạo lập một bộ dữ liệu chính xác, mà còn hướng đến việc xây dựng một hệ thống dữ liệu có khả năng liên thông, cập nhật và tích hợp với các cơ sở dữ liệu khác, phục vụ hiệu quả cho công tác quản lý không gian bền vững. Quá trình nghiên cứu được thực hiện theo ba hướng chính: thu thập dữ liệu gốc; xử lý chuẩn hóa dữ liệu; và kiểm tra, đánh giá độ chính xác trước khi thành lập bộ cơ sở dữ liệu nền.

Trước hết, công tác thu thập dữ liệu được tiến hành với sự hỗ trợ của nhiều phương pháp tiên tiến. Bay chụp ảnh số kết hợp quét LiDAR được lựa chọn làm nguồn dữ liệu chính, nhờ ưu thế thu thập thông tin không gian diện rộng, có độ phủ cao, liên tục và chi tiết. Hệ thống điểm trạm Base

và bãi hiệu chỉnh được bố trí hợp lý trong khu vực nghiên cứu, nhằm tạo điều kiện cho đo nối GPS/IMU và thủy chuẩn chính xác. Phương pháp này giúp xác định hệ tọa độ và độ cao chuẩn cho các đối tượng, tạo cơ sở vững chắc cho toàn bộ dữ liệu địa lý. Ngoài ra, điều tra ngoại nghiệp cũng được thực hiện đồng thời để thu thập thông tin thuộc tính, cập nhật thực trạng địa vật, địa hình và bổ sung những chi tiết mà công nghệ bay chụp hoặc LiDAR khó thể hiện chính xác.

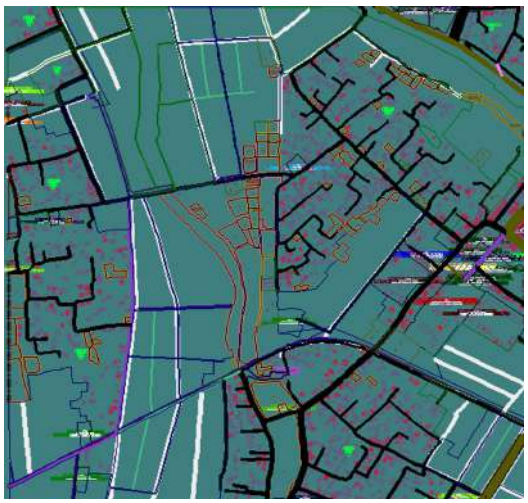
Tiếp đến, công tác xử lý dữ liệu sau bay được thực hiện theo chuỗi quy trình công nghệ khép kín. Dữ liệu GPS/IMU và định hướng ngoài được xử lý trước, làm cơ sở cho việc hiệu chỉnh hình học và đồng bộ hóa không gian. Sóng laser LiDAR được xử lý nhằm loại bỏ nhiễu, phân loại đám mây điểm thành các nhóm lớp khác nhau: bề mặt đất, công trình, cây xanh, mặt nước,… Từ đó, mô hình số địa hình (DTM) và mô hình số bề mặt (DSM) được xây dựng, phản ánh chính xác đặc điểm tự nhiên và nhân tạo của khu vực nghiên cứu. Dữ liệu ảnh số sau bay được trực giao hóa để tạo ảnh trực giao chính xác và ảnh cường độ, đồng thời được tích hợp với dữ liệu LiDAR nhằm nâng cao tính trực quan và độ chi tiết của sản phẩm.

Một khâu quan trọng trong phương pháp nghiên cứu là công tác chuẩn hóa dữ liệu. Toàn bộ dữ liệu không gian được chuyển đổi và đồng bộ về cùng hệ tọa độ VN-2000, bảo đảm tính thống nhất và khả năng chia sẻ với các cơ sở dữ liệu địa lý. Quy trình biên tập, kiểm tra và chuẩn hóa được thực hiện nghiêm ngặt theo các tiêu chuẩn kỹ thuật của Bộ Nông nghiệp và Môi trường, nhằm đảm bảo sản phẩm cuối cùng có độ chính xác hình học và nội dung đạt chuẩn. Việc chuẩn hóa này cũng tạo điều kiện thuận lợi cho dữ liệu khi tích hợp vào hệ thống GIS, bản đồ số trực tuyến hoặc các nền tảng quản lý đô thị thông minh trong tương lai.

Cuối cùng, kết quả nghiên cứu là bộ cơ sở dữ liệu nền địa lý tỷ lệ 1/2000 bao gồm nhiều nhóm lớp thông tin quan trọng: khống chế trắc địa, thủy văn, giao thông, địa hình, hạ tầng dân cư và hạ tầng kỹ thuật, đối tượng địa giới hành chính, thực phủ. Bộ dữ liệu này không chỉ phản ánh đặc điểm không gian của Phúc Thọ, mà còn cung cấp một nền tảng thông tin đa ngành có khả năng tích hợp và khai thác trong nhiều lĩnh vực khác nhau. Đặc biệt, bộ cơ sở dữ liệu này tạo tiền đề cho việc ứng dụng trong công tác quy hoạch sử dụng đất, phát triển hạ tầng, quản lý tài nguyên và môi trường, cũng như hỗ trợ xây dựng các mô hình đô thị thông minh và quản lý không gian bền vững lâu dài.

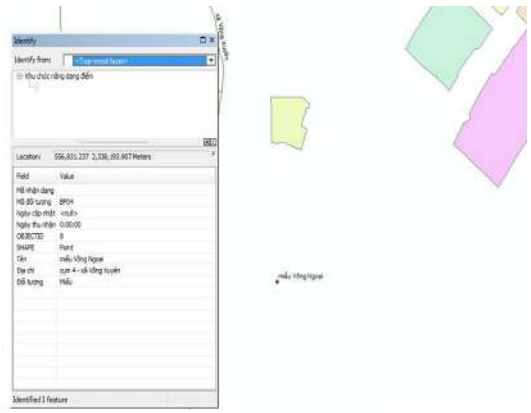
3. Kết quả và thảo luận

Kết quả nghiên cứu đã xây dựng được cơ sở dữ liệu nền địa lý tỷ lệ lớn cho khu vực nghiên cứu (Hình 2, Hình 3). Cụ thể, bình đồ trực ảnh được tạo lập từ công nghệ LiDAR đã được sử dụng để nhận dạng và phân loại các đối tượng địa lý, làm cơ sở cho việc số hóa và xây dựng dữ liệu. Các đối tượng địa lý được véctơ hóa chính xác vị trí không gian nhờ phân tích màu sắc, hình thái trên ảnh nắn thẳng đứng kết hợp với mô hình số độ cao. Trên cơ sở đó, điều tra thực địa được tiến hành nhằm bổ sung các chi tiết còn thiếu và xác minh những đối tượng khó đoán nhận trong nội nghiệp. Dữ liệu thu thập được chuẩn hóa theo danh mục đối tượng địa lý và lược đồ ứng dụng quy định trong môi trường Microstation, đảm bảo tính thống nhất và khả năng tích hợp. Kết quả cuối cùng là một cơ sở dữ liệu nền địa lý tỷ lệ lớn, có độ chính xác và tính chuẩn hóa cao, phục vụ trực tiếp cho công tác quản lý và phát triển không gian bền vững.

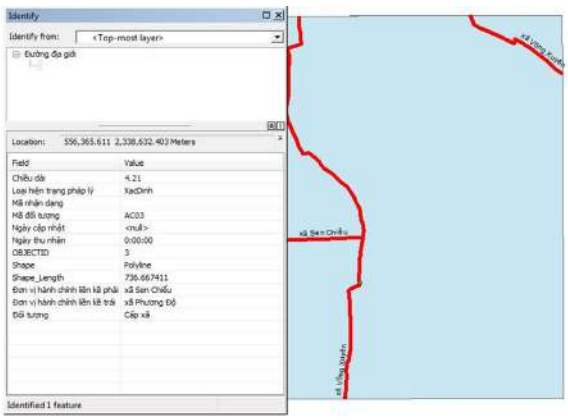


(a)

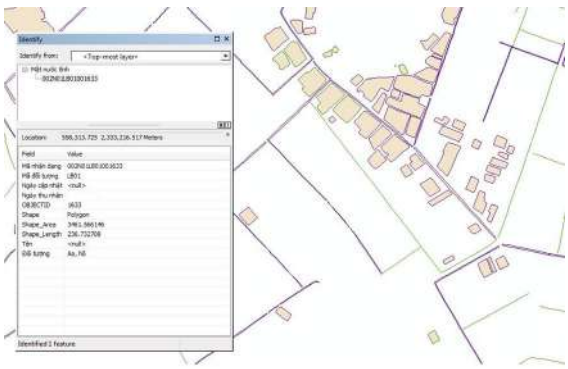
(b)



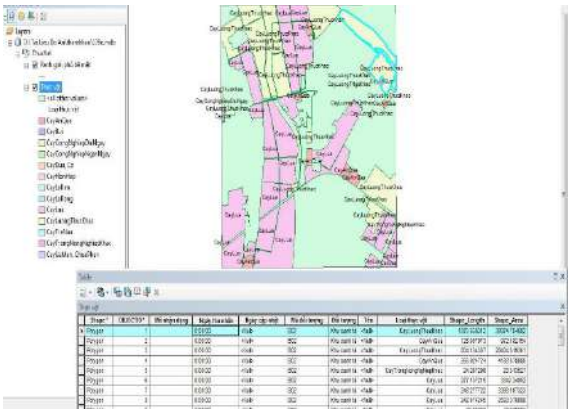
(c)



(d)

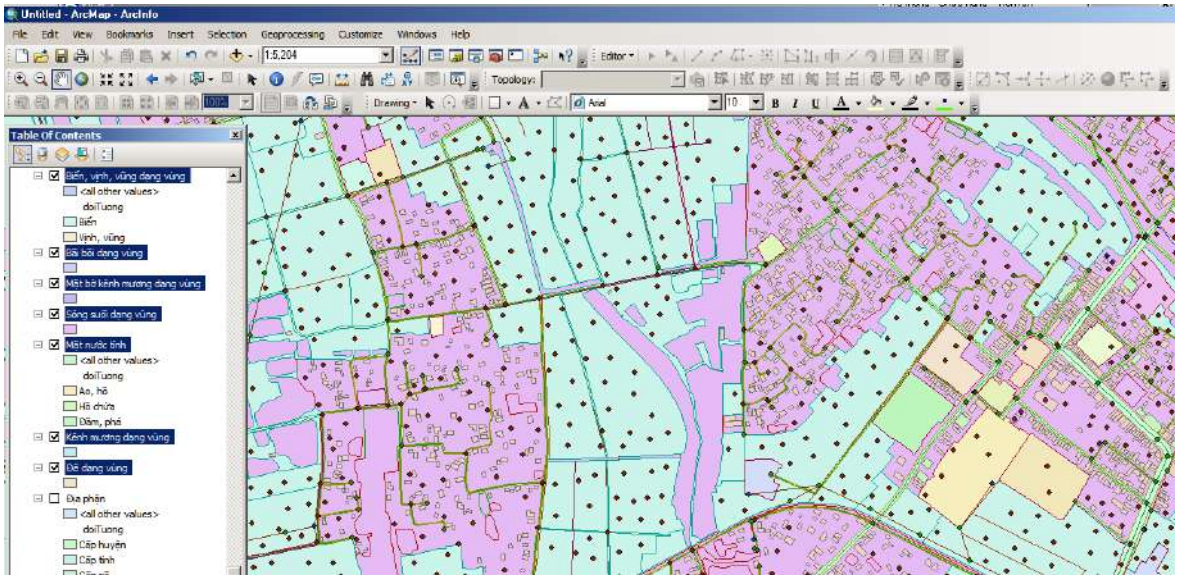


(e)



(g)

Hình 2. Một số kết quả cụ thể: (a): Vector hóa đối tượng địa lý (nội nghiệp); (b): Vector hóa nội nghiệp kết hợp bình đồ ảnh; (c): Thể hiện đối tượng dạng điểm; (d) Thể hiện đối tượng dạng đường; (e): Thể hiện đối tượng dạng vùng; (g): Thuộc tính lớp phủ bề mặt



*Hình 3. Dữ liệu nền thông tin địa lý (khuôn dạng *.mdb) trong môi trường GIS*

Cơ sở dữ liệu nền địa lý là nền tảng phục vụ quản lý không gian bền vững khu vực nghiên cứu, cụ thể ở những điểm chính như sau:

a- Nền tảng dữ liệu

Cơ sở dữ liệu nền địa lý tỷ lệ 1/2000 là khung tham chiếu không gian chính xác cho địa bàn Phúc Thọ, thể hiện chi tiết các đối tượng phục vụ quản lý đất đai, hạ tầng và môi trường. Các lớp dữ liệu cơ bản gồm điểm khống chế, ranh giới hành chính, mạng lưới giao thông, thủy hệ, địa hình, mốc giới quy hoạch, khu dân cư và lớp phủ bề mặt, tất cả đều được chuẩn hóa theo mô hình đặc trưng để đảm bảo khả năng liên kết liên ngành.

Chất lượng dữ liệu được đảm bảo qua các tiêu chí chính: độ chính xác hình học, độ chính xác thuộc tính, tính nhất quán lôgic - tôpô và mức độ bao phủ đầy đủ. Quy trình kiểm tra bao gồm đối soát với ảnh viễn thám, đo kiểm GNSS, kiểm thử tôpô và chuẩn hóa siêu dữ liệu theo tiêu chuẩn quốc tế, giúp dữ liệu có khả năng tích hợp, chia sẻ và kiểm chứng lâu dài.

Tính liên thông được duy trì thông qua các dịch vụ bản đồ và API, hỗ trợ đồng bộ và hợp nhất dữ liệu từ nhiều nguồn. Dữ liệu còn mang yếu tố thời gian, cho phép truy vết biến động và phân tích chuỗi lịch sử, đồng thời được vận hành trên hạ tầng lưu trữ - khai thác an toàn và mở rộng. Nhờ đó, cơ sở dữ liệu nền địa lý trở thành nền tảng chung, tạo "ngôn ngữ thống nhất" cho các cơ quan quản lý, cộng đồng và doanh nghiệp cùng hướng tới phát triển không gian bền vững tại Phúc Thọ.

b- Nền tảng kỹ thuật

Cơ sở dữ liệu nền địa lý tỷ lệ lớn chỉ phát huy hiệu quả khi được triển khai trên một nền tảng kỹ thuật ổn định, mở rộng và tích hợp. Hệ thống này bao gồm phần mềm và phần cứng chuyên dụng cho dữ liệu không gian như hệ quản trị CSDL vector - raster, dịch vụ bản đồ, công cụ xử lý dữ liệu, cùng cơ chế truy cập và bảo mật. Tổ chức dữ liệu hợp lý, chỉ mục không gian và phân vùng theo địa lý - thời gian là yêu cầu bắt buộc để bảo đảm hiệu năng truy vấn trên phạm vi rộng.

Khả năng cung cấp dữ liệu được thực hiện qua các dịch vụ và API theo chuẩn mở, hỗ trợ chia sẻ cho các ngành và ứng dụng web, di động. Quy trình xử lý dữ liệu cần được tự động hóa tối đa, từ nhập liệu, chuẩn hóa, hiệu chỉnh đến kiểm tra chất lượng. Đồng thời, nền tảng phải đảm bảo hiệu năng trong các truy vấn phức tạp, đồ họa 3D, dữ liệu thời gian thực từ cảm biến và tích hợp với hệ thống quản lý đô thị thông minh.

Bảo mật và quản trị truy cập phải được thiết kế ngay từ đầu, bao gồm phân quyền, xác thực, sao lưu, phục hồi và phiên bản hóa dữ liệu. Người dùng có thể khai thác dữ liệu qua bản đồ web,

bảng điều khiển, công cụ chỉnh sửa hoặc phần mềm phân tích, với khả năng xuất báo cáo và thống kê chuyên đề. Nhờ vậy, nền tảng kỹ thuật không chỉ bảo đảm an toàn dữ liệu mà còn trở thành động lực thúc đẩy ứng dụng phân tích, ra quyết định và quản lý không gian bền vững tại Phúc Thọ.

c- Nền tảng quản lý

Cơ sở dữ liệu nền địa lý tỷ lệ lớn đóng vai trò quan trọng như một nền tảng quản lý toàn diện, giúp chính quyền huyện Phúc Thọ nâng cao hiệu quả trong công tác điều hành, giám sát và ra quyết định. Với độ chính xác và tính chuẩn hóa cao, hệ thống này cung cấp căn cứ khoa học để hoạch định chính sách, quy hoạch sử dụng đất, quản lý xây dựng và phát triển hạ tầng, giảm thiểu sự phụ thuộc vào các nguồn dữ liệu rời rạc, thiếu đồng bộ. Trên cơ sở tích hợp các thông tin dân cư, đất đai, môi trường và hạ tầng, cơ sở dữ liệu nền địa lý cho phép cơ quan quản lý tiến hành phân tích đa chiều, phát hiện các chồng chéo trong quy hoạch, từ đó đề xuất phương án điều chỉnh hợp lý. Điều này đặc biệt có ý nghĩa trong bối cảnh nhu cầu phát triển đô thị, nông thôn ở Phúc Thọ đang gia tăng, đòi hỏi phải sử dụng đất đai và tài nguyên một cách tiết kiệm, hài hòa và bền vững.

Một giá trị nổi bật khác là tăng cường tính minh bạch và sự tham gia của cộng đồng. Khi dữ liệu nền được chia sẻ thông qua cổng thông tin hoặc bản đồ trực tuyến, người dân và doanh nghiệp có thể dễ dàng tiếp cận, giám sát các hoạt động quy hoạch và quản lý không gian. Cơ chế này tạo ra sự đồng thuận xã hội, đồng thời giúp cơ quan quản lý nhận được phản hồi kịp thời từ cộng đồng, góp phần nâng cao chất lượng quyết định và giảm thiểu xung đột lợi ích. Ngoài ra, việc sử dụng chung một cơ sở dữ liệu nền địa lý còn tạo điều kiện tăng cường phối hợp liên ngành. Các phòng, ban chức năng cùng khai thác và cập nhật thông tin trên cùng một nền tảng, nhờ đó hạn chế sự trùng lặp trong công việc và nâng cao hiệu quả quản trị. Đây là yếu tố thiết yếu để hướng tới một hệ thống quản lý hiện đại, minh bạch và đáp ứng yêu cầu phát triển bền vững của huyện Phúc Thọ.

d- Nền tảng phát triển bền vững

Cơ sở dữ liệu nền địa lý tỷ lệ lớn đóng vai trò then chốt trong việc tạo ra nền tảng thông tin minh bạch cho công tác giám sát biến động không gian tại huyện Phúc Thọ. Việc theo dõi các thay đổi về sử dụng đất, hạ tầng, dân cư và môi trường giúp cơ quan quản lý nhận diện các xu hướng phát triển, từ đó đưa ra các quyết định hướng tới mục tiêu phát triển bền vững, bao quát cả ba khía cạnh kinh tế, xã hội và môi trường. CSDL nền địa lý cũng tạo tiền đề cho việc xây dựng chính quyền số và đô thị thông minh. Khi dữ liệu được chuẩn hóa, cập nhật thường xuyên và tích hợp với các hệ thống quản lý điện tử, các phòng ban có thể ra quyết định nhanh chóng, hiệu quả và minh bạch. Người dân, doanh nghiệp và các tổ chức xã hội cũng có thể tham gia vào quá trình giám sát, góp phần nâng cao trách nhiệm quản lý và đồng thuận xã hội.

Một khía cạnh quan trọng khác là cân bằng giữa phát triển hạ tầng và bảo tồn tài nguyên, môi trường. Thông qua phân tích dữ liệu nền, cơ quan quản lý có thể đánh giá tác động của các dự án xây dựng tới đất đai, cây xanh, thủy hệ và các hệ sinh thái khác, từ đó điều chỉnh kế hoạch phát triển để vừa đáp ứng nhu cầu hạ tầng vừa bảo vệ môi trường. Việc sử dụng dữ liệu nền địa lý như một công cụ hỗ trợ lập kế hoạch chiến lược giúp đảm bảo phát triển bền vững lâu dài cho Phúc Thọ.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã xây dựng cơ sở dữ liệu nền địa lý tỷ lệ 1/2000 cho khu vực Phúc Thọ (trước khi sáp nhập), bao gồm các lớp dữ liệu về khống chế trắc địa, thủy văn, giao thông, địa hình, hạ tầng dân cư và hạ tầng kỹ thuật, ranh giới hành chính và thực phủ. Bộ dữ liệu không chỉ phản ánh đặc điểm tự nhiên và hiện trạng không gian của khu vực nghiên cứu, mà còn bảo đảm tính thống nhất, chính xác và khả năng tích hợp. Quan trọng hơn, cơ sở dữ liệu nền địa lý này đóng vai trò nền tảng (về các khía cạnh dữ liệu, kỹ thuật, quản lý, phát triển bền vững) để có thể chiết xuất và tích hợp thành nhiều cơ sở dữ liệu chuyên đề khác, phục vụ toàn diện cho phân tích, đánh giá, quy hoạch và quản lý không gian bền vững. Đây chính là công cụ cốt lõi góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng tài nguyên, bảo vệ môi trường và hỗ trợ định hướng phát triển đô thị thông minh, hiện đại và bền vững tại khu vực nghiên cứu.

Để phát huy giá trị lâu dài của bộ cơ sở dữ liệu, nghiên cứu kiến nghị cần có cơ chế cập nhật định kỳ, đảm bảo tính thời sự và độ tin cậy của thông tin. Đồng thời, việc tăng cường chia sẻ và liên thông dữ liệu giữa các cơ quan quản lý, đơn vị nghiên cứu, doanh nghiệp và cộng đồng là rất cần thiết nhằm khai thác hiệu quả nguồn dữ liệu. Bên cạnh đó, việc tích hợp CSDL nền địa lý với các công nghệ số hiện đại như GIS, IoT, trí tuệ nhân tạo và bản đồ web sẽ mở rộng khả năng ứng dụng trong nhiều lĩnh vực quản lý, giám sát và ra quyết định. Đây là hướng đi quan trọng để nâng cao chất lượng quản lý không gian và phát triển bền vững tại Phúc Thọ nói riêng và Hà Nội nói chung.

Lời cảm ơn

Tác giả xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ trong nghiên cứu của Công ty Tài nguyên và Môi trường Việt Nam.

Tài liệu tham khảo

Aiymeku, T.G., Kenate, W.T., Gemechu, D.W., Zenebe, R.R., 2025. Green spaces suitability analysis for urban resilience using geospatial technology: The case of Jimma city, Oromia, Ethiopia. *Environment, Development and Sustainability* 27, 5, pp 11449-11476.

Attah, R.U., I. Gil-Ozoudeh, Garba, B.M.P., Obinna, I., 2024. Leveraging geographic information systems and data analytics for enhanced public sector decision-making and urban planning. *Magna Sci Adv Res Rev*, 12, 2, pp 152-163.

Cơ quan thống kê quốc gia, https://www.nso.gov.vn/. Truy cập ngày 20 tháng 4 năm 2025.

Đỗ Thị Thu Thủy, Trịnh Anh Cơ, Cao Văn Hoạch, Nguyễn Văn Tuấn, Đỗ Hoàng Đức, Lương Thị Kim Dung, 2022. Nghiên cứu thử nghiệm tích hợp dữ liệu thống kê dân số, nhà ở với dữ liệu nền địa lý cho tỉnh Thanh Hóa đáp ứng nhu cầu quản lý, quy hoạch của tỉnh. *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ*, số 51, trang 30-39.

Gorjian, M., 2025. Advances and challenges in GIS-based assessment of urban green infrastructure: A systematic review (2020-2024). Preprints. https://doi. org/10.20944/preprints202508 281.

Hoàng Dương Huấn, 2021. Xây dựng cơ sở dữ liệu không gian địa lý quốc gia về giao thông phục vụ quy hoạch, quản lý đô thị thông minh. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, 15, 7, trang 190-199.

Nguyễn Bích Ngọc, Đào Đức Hưởng, Trần Thị Phượng, 2014. Ứng dụng GIS trong xây dựng mô hình 3D phục vụ cho quy hoạch không gian đô thị quận Hải Châu, thành phố Đà Nẵng. *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ*, 19, trang 47-55.

Nguyễn Văn Thành, Tạ Văn Phấn, 2025. Chuyển đổi số trong quản lý xây dựng đô thị Cao Bằng: vai trò của BIM và GIS. *Tạp Chí Vật liệu Và Xây dựng*, 15(02), trang 221-225.

Osakwe, J., Nkechi, N.A., Nelson, C.O., Daphine, G., 2025. Integrating Data Analytics and Gis for Smart City Development: A Systematic Literature Review. *IST-Africa Conference (IST-Africa)*, pp. 1-11.

Shah, R., 2024. Smart cities and GIS: leveraging spatial data for urban planning and sustainability. *Multidisciplinary Research in Computing Information Systems*, 4, 3, pp 143-156.

Thành ủy Hà Nội, https://thanhuyhanoi.vn/. Truy cập ngày 5 tháng 8 năm 2025.

Wu, J., Wensheng G., Han-Chieh C., Philip S.Y., 2024. Geospatial big data: Survey and challenges. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 17, pp 17007 - 17020.

Large-scale geospatial base database - A basis for sustainable spatial management in Phuc Tho area, Hanoi

Tran Hong Hanh[1,*]
[1]*Hanoi University of Mining and Geolgy*
**Corresponding author: Email: tranhonghanh@gmail.com*

Abstract

This study aims to develop a large-scale geospatial base database to support sustainable spatial management in Phuc Tho area (prior to its administrative merger), Hanoi, where significant socio-economic and land-use changes have occurred. The applied methodology integrates digital aerial photogrammetry, LiDAR scanning, GPS/IMU surveying, and field investigation, followed by data processing and standardization within the VN-2000 coordinate system. The main outcome is a comprehensive geospatial database consisting of geodetic control, hydrography, transportation, topography, residential and technical infrastructure, administrative boundaries, and land cover layers. This geospatial base database provides a fundamental platform for integration, exploitation, and effective support of sustainable spatial management both at present and in the future within the study area. The dataset will be highly valuable for governmental authorities, planning agencies, enterprises, and local communities in promoting sustainable development.

Keywords: Geospatial database; spatial management; sustainability; Phuc Tho; Hanoi.

KỶ YẾU HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC
VIETGEO 2025

TRƯỜNG ĐẠI HỌC TRÀ VINH

NGÀY 24 & 25 THÁNG 10 NĂM 2025

CHỦ ĐỀ IV

CÔNG NGHỆ KHOAN - KHAI THÁC

DEPTH-DEPENDENT STABILITY ANALYSIS OF BENTONITE SLURRY TRENCH: A COMPARATIVE STUDY USING 2D AND 3D

Le Thi Cat Tuong[1,*], Nguyen Van Hai[1], Nguyen Thanh Danh[1], Phạm Ngoc Tan[1], Nguyen Thanh Son[1], Vo Thanh Toan[1], Trinh Van Thao[1]

[1]MienTrung University of Civil Engineering

[*]Corresponding author: Email: lethicattuong@muce.edu.vn

Abstract

Stability assessment is a critical aspect of geotechnical engineering, particularly in deep excavations such as bentonite slurry trenches, where depth-dependent variations in factor of safety (FOS) influence design and risk assessments. This study conducts a comparative numerical analysis of slurry trench panel stability using the Shear Strength Reduction (SSR) technique across four numerical models: FLAC2D, RS2 (2D models) and FLAC3D, RS3 (3D models). The results indicate that: 1) Although using two different numerical analyses, FLAC2D, FLAC3D-Finite Difference method (FDM) and RS2, RS3-Finite element method (FEM), the stability coefficients do not differ much, with the difference between FLAC2D and RS2 ranging from 0.8% to 5.4%, between FLAC3D and RS3 ranging from 0.1% to 6.4%. It can be said that there is almost good agreement between FLAC2D and RS2, between FLAC3D and RS3 in terms of stability coefficients. 2) 3D models (FLAC3D, RS3) generally predict higher FOS values than their 2D counterparts (FLAC2D, RS2) with the value range from 19% to 80% corresponding to the increasing depth. This study provides insights into the selection of appropriate modeling techniques for practical slurry trench stability analysis, contributing to the optimization of slurry trench design and ensuring safer, more efficient construction practices.

Keywords: slurry trench, factor of safety (FOS), RS, FLAC, Shear Strength Reduction (SSR).

1. Introduction

Stability analysis of trench excavations with temporary slurry support is a critical aspect of geotechnical engineering, particularly in deep foundation construction and underground infrastructure projects. Slurry-supported trenches are commonly used for diaphragm walls and cut-off barriers, relying on the stabilizing effect of bentonite or polymer-based slurries to counteract soil pressures and prevent collapse. However, as excavation depth increases, changes in stress distribution and material behavior can significantly influence the Factor of Safety (FOS) and overall trench stability. Understanding depth-dependent stability variations is therefore essential for optimizing excavation support systems and ensuring structural integrity.

Previous research has extensively investigated excavation stability using numerical modeling techniques, such as the Finite Element Method (FEM) and Finite Difference Method (FDM), to simulate soil-structure interaction and assess failure mechanisms. Studies by Griffiths and Lane (1999) (Griffiths & Lane, 1999) demonstrated the effectiveness of the Shear Strength Reduction (SSR) method in determining FOS for slope and excavation stability. Zienkiewicz et al. (1975) (Zienkiewicz et al., 1975) highlighted the advantages of SSR for analyzing geotechnical stability problems, while Dawson et al. (1999) (Dawson et al., 1999) compared SSR-based FDM (FLAC program) and traditional limit equilibrium methods (LEM), concluding that SSR-based FDM provides a more comprehensive representation of failure surfaces.

More recent studies have focused on the comparison of 2D and 3D numerical models in excavation analysis. Potts and Zdravković (2001) (Potts & Zdravković, 2001) emphasized that 3D models provide more realistic predictions of soil deformations and failure mechanisms compared to 2D approximations, which often yield conservative stability estimates. Similarly, Zhang et al.

(2013) (Zhang et al., 2013) analyzed a slurry-filled trench wall using an elasto-plastic FEM model. Additionally, research by Wei Li and Chengping Zhang (2019) (Li & Zhang, 2019) applied FDM-based software, such as FLAC3D, to assess slurry trench stability in cohesive-frictional soils.

Despite these advancements, comparative studies between FEM-based (RS2, RS3 software programes (Rocscience, 2012, 2023)) and FDM-based (FLAC2D, FLAC3D software programes (Itasca Consulting Group, 2011, 2023)) approaches for slurry trench stability remain limited. This study aims to address this gap by conducting a depth-dependent numerical analysis of slurry trench stability using FLAC2D, RS2, FLAC3D, and RS3. The primary objectives are to evaluate how FOS changes with increasing depth and compare results across different numerical techniques, assess the differences between 2D and 3D models in predicting excavation stability, and provide insights into selecting appropriate modeling techniques for practical geotechnical applications.

The findings of this study contribute to the optimization of excavation design, ensuring safer and more efficient construction practices. By comparing depth-dependent stability coefficients across different numerical methods, this research provides practical recommendations for selecting reliable computational approaches in slurry trench stability analysis.

2. The analyzed problems

2.1 The Shear Strength Reduction (SRR) technique

This study utilizes the Shear Strength Reduction (SSR) technique with the Mohr-Coulomb material model, which is available in FLAC2D, FLAC3D v7.0, RS2 v11.0, and RS3 v4.0 (Itasca Consulting Group, 2011, 2023; Rocscience, 2012, 2023), to analyze the stability coefficients.

Duncan et al. (Duncan & Wright, 2005) defined the factor of safety as follows:

The factor of safety, F, is defined with respect to the shear strength of the soil as (Duncan & Wright, 2005):

$$F = \frac{S}{\tau} \tag{1}$$

where s is the available shear strength and τ is the equilibrium shear stress. The equilibrium shear stress is the shear stress required to maintain a just-stable slope and from Eq. (1) may be expressed as (Duncan & Wright, 2005):

$$\tau = \frac{s}{F} \tag{2}$$

The equilibrium shear stress is equal to the available shear strength divided (factored) by the factor of safety. The factor of safety represents the factor by which the shear strength must be divided so that the reduced strength is just in equilibrium with the shear stress (τ) (i.e., the slope is in a state of just-stable limiting equilibrium). The procedures used to perform such computations are known as limit equilibrium procedures.

The shear strength can be expressed by the Mohr-Coulomb equation. If the shear strength is expressed in terms of total stresses, Eq. (2) is written as (Duncan & Wright, 2005):

$$\tau = \frac{c + \sigma \tan\phi}{F} \tag{3}$$

$$\tau = \frac{c}{F} + \frac{\sigma \tan\phi}{F} \tag{4}$$

where c and ϕ are the cohesion and friction angle for the soil, respectively, and σ is the normal stress on the shear plane. The same values for the factor of safety are applied to cohesion and friction in this equation. Equation (4) can also be written as (Duncan & Wright, 2005):

$$\tau = c_d + \sigma \tan\phi_d \tag{5}$$

$$c_d = \frac{c}{F} \tag{6}$$

$$\tan\phi_d = \frac{\tan\phi}{F} \quad (7)$$

The quantities c_d and ϕ_d represent the developed (or mobilized) cohesion and friction angle, respectively.

2.2 The trench size and mechanical properties of soils

In the actual field, the bentonite slurry trench panel has a width of 1 m, a length of 6 m, and a depth that gradually increases from 2.5 m to 12.5 m. The excavation trench model was based on real ground conditions in Hue City, Vietnam, with mechanical properties shown in Table 1 (Cała et al., 2024). The analysis was conducted for the following cases (Figure 1a & b): The bentonite slurry trench panel with a unit weight of 10.5 kN/m³ and surcharge load of 10 kN/m² on the ground-surface. The bentonite slurry trench panel with a unit weight of 12.0 kN/m³ surcharge load on ground-surface.

The geometry and boundary conditions are shown in Figure 1a & b. In two dimensions (2D) (FLAC2D, RS2), the numerical model is built based on half of the model's geometry. The trench dimensions are: X-direction × Z-direction = ½ Width × Depth = 0.5 m × 12.5 m *(For the actual soil ground: Width × Depth = 1.0 m × 12.5 m)*. In three dimensions (3D) (FLAC3D, RS3), the numerical model is built based on a quarter of the model's geometry. The trench dimensions are: X-direction × Y-direction × Z-direction = ½ Width × ½ Length × Depth = 0.5 m × 3 m × 12.5 m *(For the actual soil ground: Width × Length × Depth = 1.0 m × 6 m × 12.5 m)*.

Table 1. *Mechanical of soils (Cała et al., 2024)*

Layer	Thickness from the Surface, m	Young Modulus, MPa	Dry Unit Weight, $\frac{kN}{m^3}$	Bulk Unit Weight, $\frac{kN}{m^3}$	Cohesion kPa	Friction, Deg	Groundwater level, m
Sand	0.8	10	15.03	17.93	0	28.3	2.9
Sandy clay	2.9	8.32	16.35	20.08	14.73	13.6	
Sand	15.5	34	16.93	20.20	0	31.5	
Sandy clay	6	10.782	20.20	20.13	11.28	17.7	

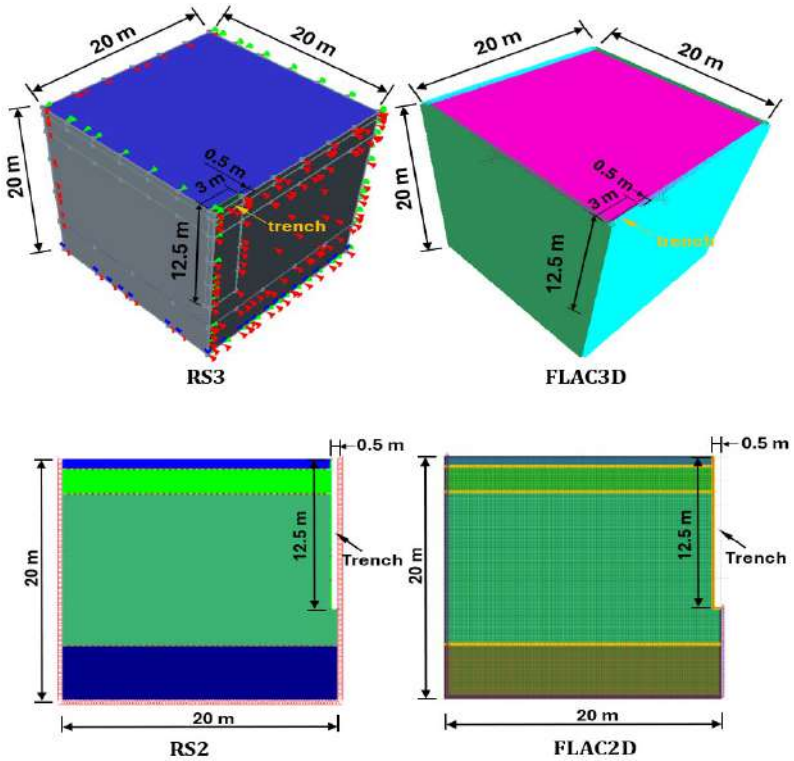


Figure 1a. Geometry and boundary conditions of bentonite slurry trench model by 3D (RS3, FLAC3D) and 2D (RS2 and FLAC2D)

For the boundary conditions, the vertical boundary planes (Y) are free to move in the Y- and Z-directions but are constrained in the X-direction. The vertical boundary plane (X) is free to move in the X- and Z-directions but is constrained in the Y-direction. The horizontal bottom boundary plane (Z = 0) is fully restrained in all directions. The horizontal top plane represents the free surface.

The numerical model is discretized into the following mesh conditions: FLAC2D: 25,600 quadrilateral elements, RS2: 5,000 six-node triangular elements, FLAC3D: 4,096,000 quadrilateral elements, RS3: 57,616 ten-node tetrahedral elements.

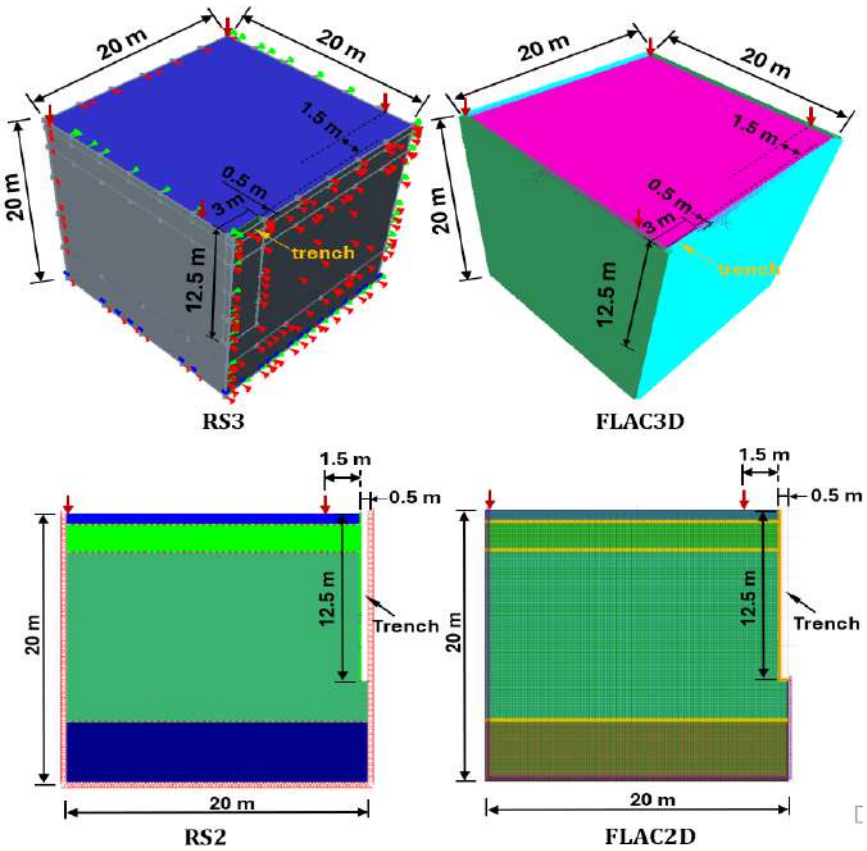


Figure 1b. Geometry and boundary conditions of bentonite slurry trench model with surcharge load of 10 kN/m² on the ground-surface by 3D (RS3, FLAC3D) and 2D (RS2 and FLAC2D)

3. Results

The factor of safety (FOS) was evaluated at various depths using numerical simulations in FLAC2D, FLAC3D, RS2, and RS3. The results indicate that as excavation depth increases, the stability coefficients decrease across all methods, as detailed below:

- For a trench panel with bentonite slurry of 10.5 kN/m³ (Figure 2a): In FLAC2D, FOS decreases from 2.896 to 1.090 as the trench depth increases from 2.5 m to 12.5 m, in RS2, FOS decreases from 3.061 to 1.140, in FLAC3D, FOS decreases from 3.977 to 1.926, in RS3, FOS decreases from 4.016 to 2.004.

- For a trench panel with bentonite slurry of 10.5 kN/m³ and a surcharge load of 10 kN/m² on the ground surface (Figure 2b): In FLAC2D, FOS decreases from 2.360 to 1.040 as the trench depth increases from 2.5 m to 12.5 m, in RS2, FOS decreases from 2.310 to 1.020, in FLAC3D from 2.890 to 1.820, and in RS3 from 2.898 to 1.870.

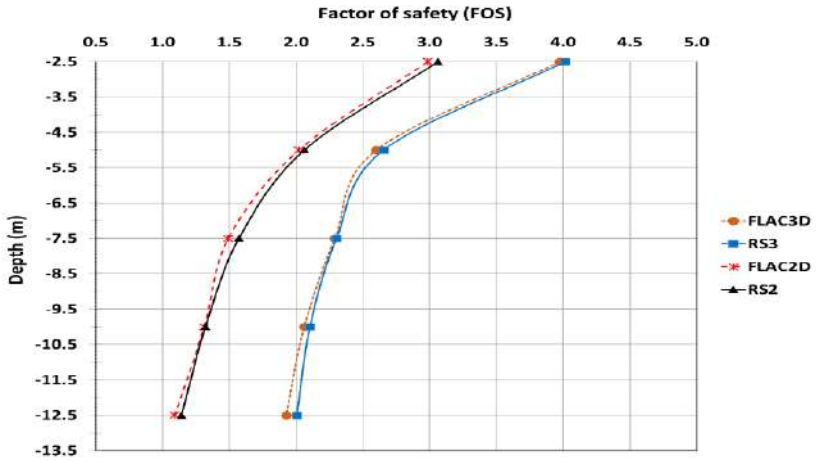


Figure 2a . FOS values from 2D (FLAC2D, RS2) and 3D (FLAC3D, RS3) models for the bentonite slurry trench (unit weight: 10.5 kN/m³)

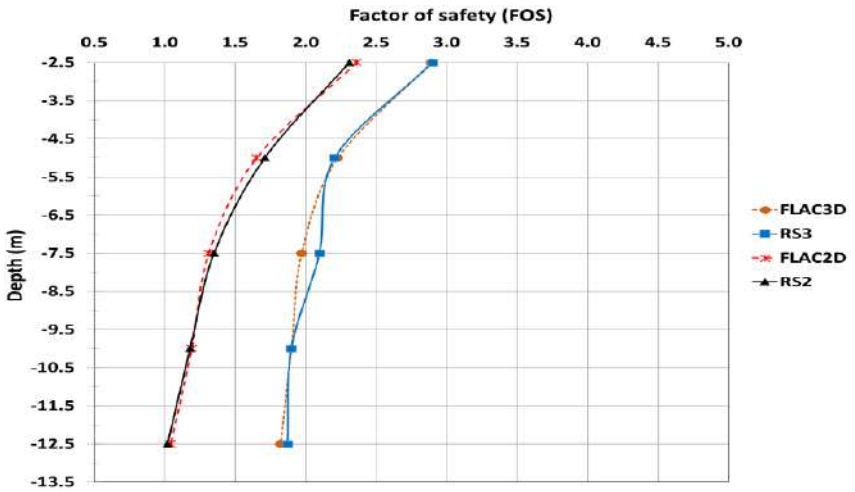


Figure 2b . FOS values from 2D (FLAC2D, RS2) and 3D (FLAC3D, RS3) models for the bentonite slurry trench (unit weight: 10.5 kN/m³), and surcharge load of 10 kN/m² on the ground-surface.

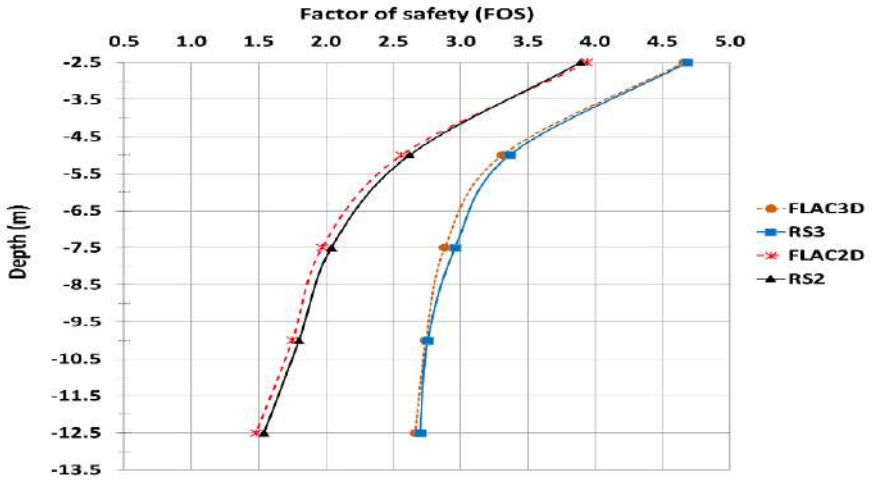


Figure 2c. FOS values from 2D (FLAC2D, RS2) and 3D (FLAC3D, RS3) models for the bentonite slurry trench (unit weight: 12.0 kN/m³)

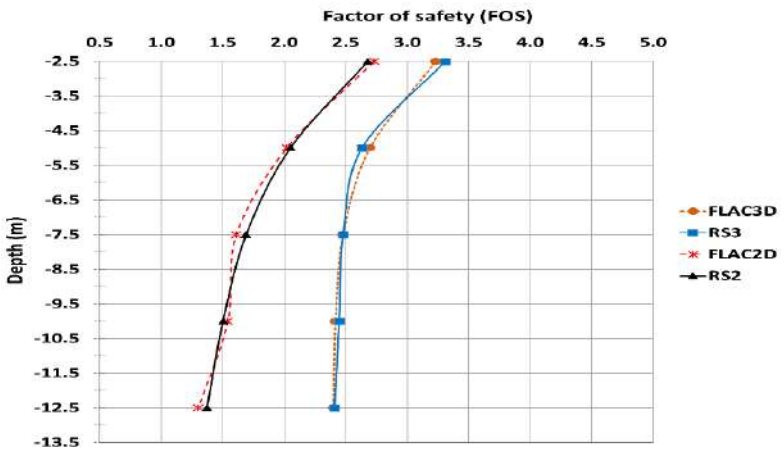


Figure 2d . FOS values from 2D (FLAC2D, RS2) and 3D (FLAC3D, RS3) models for the bentonite slurry trench (unit weight: 12.0 kN/m³), and surcharge load of 10 kN/m² on the ground-surface.

- For a trench panel with bentonite slurry of 12.0 kN/m³ (Figure 2c): As the trench depth increases from 2.5 m to 12.5 m, in FLAC2D, FOS decreases from 3.940 to 1.480, in RS2 from 3.890 to 1.540, in FLAC3D from 4.660 to 2.664, and in RS3 from 4.684 to 2.700.
- For a trench panel with bentonite slurry of 12.0 kN/m³ and a surcharge load of 10 kN/m² on the ground surface (Figure 2d): In FLAC2D, FOS decreases from 2.730 to 1.300 as the trench depth increases from 2.5 m to 12.5 m, in RS2 from 2.680 to 1.370, in FLAC3D from 3.230 to 2.398, and in RS3 from 3.308 to 2.408.

These findings highlight the influence of excavation depth, slurry unit weight, and surcharge loads on trench stability, with 3D models (FLAC3D, RS3) consistently yielding higher FOS values than their 2D counterparts (FLAC2D, RS2). Specifically, at a trench depth of 2.5 m, the FOS in 3D models is 19% to 32% higher than in 2D models, and this percentage increases with depth, reaching 76% to 80% at a trench depth of 12.5 m.

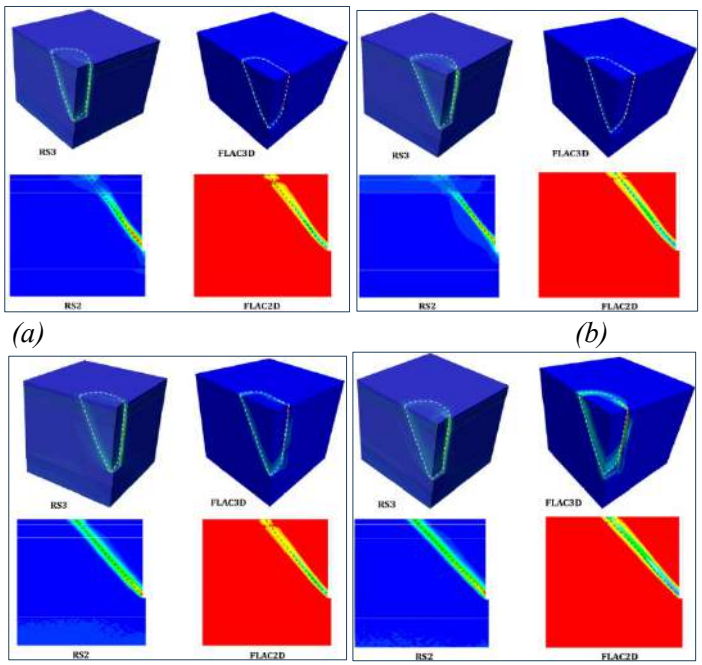


Figure 3. The failure wedge shape of a bentonite slurry trench in 3D (RS3, FLAC3D) and 2D (RS2, FLAC2D), (a): unit weight of slurry: γ = 10.5 kN/m³, (b): unit weight of slurry: γ = 10.5 kN/m³ and surcharge load of 10 kPa on the ground surface, (c): unit weight of slurry: γ = 12.0 kN/m³, (d): unit weight of slurry: γ = 12.0 kN/m³ and surcharge load of 10 kPa on the ground surface.

Additionally, the obtained FOS results indicate that in 2D models (FLAC2D, RS2), the trench is assumed to extend infinitely in one direction (length of the trench). This means that in 2D, only two dimensions (width and depth of the trench) are considered in the analysis, whereas in 3D, all three dimensions (width, length, and depth) are accounted for, better representing lateral soil arching effects (Figure 3a, b, c and d). This is why 2D models tend to overestimate the failure mechanism, resulting in lower FOS values compared to 3D models. However, FOS values in 2D approach those in 3D when the trench length increases. Example, in this object, the FOS values in 2D become nearly equal to those in 3D when the trench length exceeds 30 m (Cała et al., 2024) (Figure 4a, b, c and d).

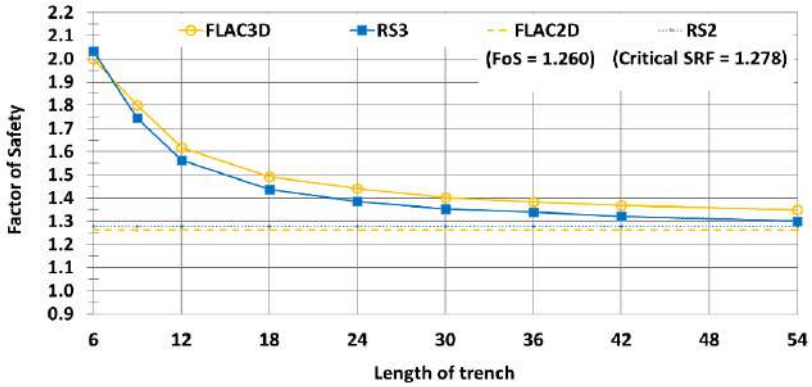


Figure 4a. Variation in FOS with trench length using different analysis methods such as FLAC2D, RS2, RS3, FLAC3D for stratum C3 and unit weight of bentonite slurry: γ_s = 10.5 kN/m³ (Cała et al., 2024)

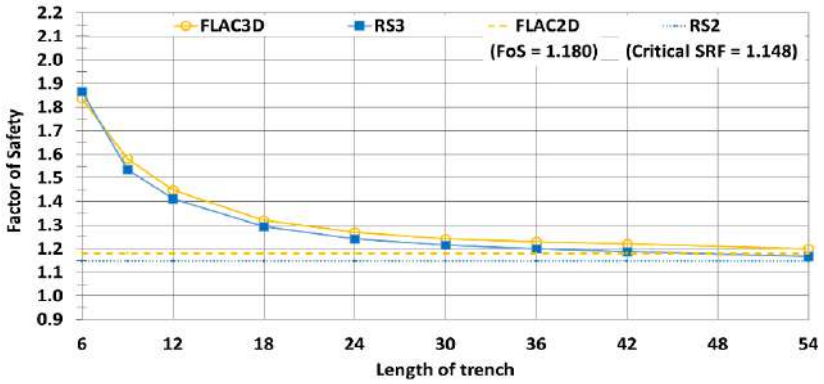


Figure 4b. Variation in FOS with trench length using different analysis methods such as FLAC2D, RS2, RS3, FLAC3D for stratum C3, unit weight of bentonite slurry: γ_s = 10.5 kN/m³, and surcharge load of 10 kN/m² on the ground-surface (Cała et al., 2024)

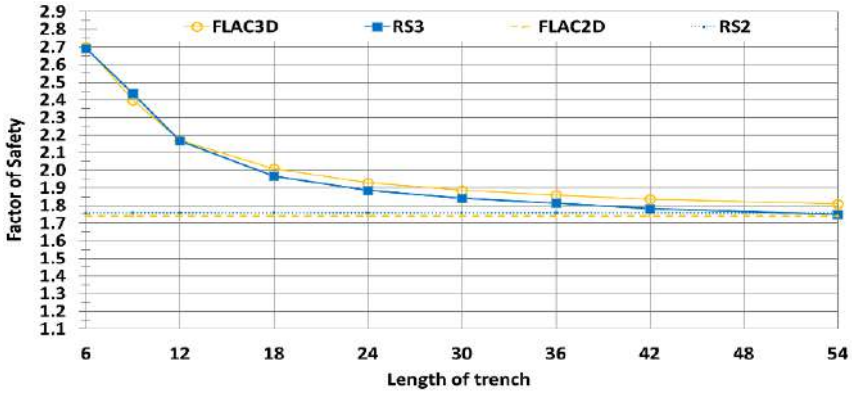


Figure 4c. Variation in FOS with trench length using different analysis methods such as FLAC2D, RS2, RS3, FLAC3D for stratum C3 and unit weight of bentonite slurry: γ_s = 12.0 kN/m³ (Cała et al., 2024)

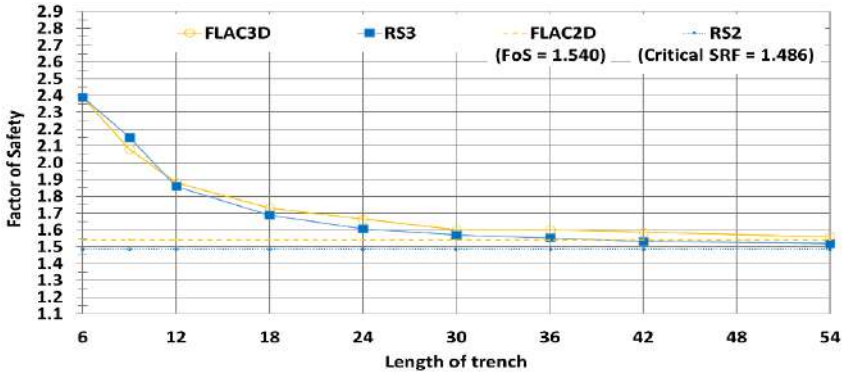


Figure 4d. Variation in FOS with trench length using different analysis methods such as FLAC2D, RS2, RS3, FLAC3D for stratum C3, unit weight of bentonite slurry: g_s = 12.0 kN/m³, and surcharge load of 10 kN/m² on the ground-surface (Cała et al., 2024)

4. Conclusion

For trench models supported by bentonite slurry with unit weights of 10.5 kN/m³ and 12.0 kN/m³ under excavation on a real ground structure (as considered in this study), the following observations were made:

- There is a good agreement in both FOS values and the shape of the failure wedge between RS2 and FLAC2D, as well as between RS3 and FLAC3D (Figures 2 and 3). However, there are significant differences between the 2D (RS2, FLAC2D) and 3D (RS3, FLAC3D) models. FOS values in the 3D models are higher, ranging from 19% to 80% greater than those in the 2D models, corresponding to an increase in trench depth from 2.5 m to 12.5 m. Especially, in the 2D models (RS2, FLAC2D): Average FOS values range from 3.024 down to 1.115 (for a bentonite slurry unit weight of 10.5 kN/m³), and average FOS values range from 2.335 down to 1.030 (for the same slurry unit weight with a surcharge load of 10 kPa on the ground surface). Average FOS values range from 3.915 down to 1.510 (for a slurry unit weight of 12.0 kN/m³), and average FOS values range from 2.705 down to 1.335 (for the same slurry unit weight with a 10 kPa surcharge). In the 3D models (RS3, FLAC3D): For a bentonite slurry unit weight of 10.5 kN/m³, average FOS values range from 3.997 down to 1.965, with an added surcharge load of 10 kPa, average FOS values range from 2.894 down to 1.845. For a slurry unit weight of 12.0 kN/m³, average FOS values range from 4.672 down to 2.682, with a 10 kPa surcharge, average FOS values range from 3.269 down to 2.403.
- In 2D modeling, only two dimensions (width and depth) are considered, while in 3D modeling, all three dimensions (width, depth, and length) are taken into account, making it more representative of real field conditions. This explains why 2D models tend to produce more conservative (lower) estimates of the Factor of Safety (FOS) compared to 3D models. This raises an important question for design: Should bentonite slurry trench stability be analyzed using 2D or 3D models for more accurate and reliable results? To ensure cost-effective and computationally efficient trench design, this study suggests the following approach: For preliminary safety assessments, simple soil-structure geometries, and shallow trenches (where the length is more than twice the depth (Washbourne, 1984)), 2D models should be utilized.
- In contrast, for complex soil-structure geometries and deeper trenches (where the length is less than twice the depth (Washbourne, 1984)), 3D models are recommended. Since 3D modeling accounts for all three dimensions, it captures soil behavior more realistically.
- In this study, unit weights of bentonite slurry equal to 10.5 kN/m³ and 12.0 kN/m³ were used in the analysis for both 2D and 3D models. Based on the obtained FOS results, the prediction of FOS for trenches supported by bentonite slurry with a unit weight equal to or less than 11 kN/m³ can be estimated. This is relevant because most standards (EN 1538:2000_Execution of Special Geotechnical Works. Diaphragm Walls., 2000; TCVN 9395:2012_Bored Pile - Construction,

Check and Acceptance, 2012) allow the use of fresh slurry with a unit weight equal to or less than 11.5 kN/m³.

Acknowledgments

The software program works using (FLAC and RS) was supported by Professor Marek Cała and Agnieszka Stopkowicz, PhD at the Faculty of Civil Engineering and Resource Management, AGH University, Krakow (Poland). The authors would like to express author's sincere gratitude to them.

Reference

Cała, M., Le, T. C. T., & Stopkowicz, A. (2024). Three-Dimensional and Two-Dimensional Stability Analysis of Bentonite Slurry Trenches Using a Shear Strength Reduction Technique and Limit Equilibrium Methods. *Applied Sciences (Switzerland)*, *14*(12). https://doi.org/10.3390/app14125251

Dawson, E. M., Roth, W. H., & Drescher, A. (1999). Slope stability analysis by strength reduction. *Geotechnique*, *49*(6), 835-840. https://doi.org/10.1680/GEOT.1999.49.6.835

Duncan, J. M., & Wright, S. G. (2005). Soil strength and slope stability. In *John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA*.

EN 1538:2000_Execution of Special Geotechnical Works. Diaphragm Walls., European Standard 54 (2000).

Griffiths, D. V., & Lane, P. A. (1999). Slope stability analysis by finite elements. *Geotechnique*, *49*(3), 387-403. https://doi.org/10.1680/geot.1999.49.3.387

Itasca Consulting Group, Inc. (2011). FLAC2D-Fast Lagrangian Analysis of Continua, Ver. 7.0 User's Manual. Minneapolis. In *Itasca Consulting Group*.

Itasca Consulting Group, Inc. (2023). *FLAC Theory and background — Itasca software documentation*.

ttps://docs.itascacg.com/itasca900/flac3d/docproject/source/theory/theory.html?node2317

Li, W., & Zhang, C. (2019). Stability analysis of a slurry trench in cohesive-frictional soils. *Open Geosciences*, *11*(1), 888-900. https://doi.org/10.1515/geo-2019-0069

Potts, D. M., & Zdravković, Lidija. (2001). *Finite element analysis in geotechnical engineering. Application*. Thomas Telford.

Rocscience. (2012). *RS2 version 11.012 | 2D Geotechnical finite element analysis | Rocscience, Tutorials*.

Rocscience. (2023). *RS3 Tutorials*. https://www.rocscience.com/help/rs3/tutorials

TCVN 9395:2012_Bored Pile - Construction, Check and Acceptance, Science and Technology - Ministry of Construction, Viet Nam (2012).

Washbourne, J. (1984). The three-dil tensional stability analysis of diaphragm wall excavations. *Ground Engineering*, *1*, 24-29.

Zhang, Z. X., Pan, C. H., & Duan, C. F. (2013). Numerical analysis for the stability of over-length trench wall based on a novel pre-supporting excavation method. *Springer Geology*, 259-262. https://doi.org/10.1007/978-3-642-31671-5_47.

Zienkiewicz, C., Humpheson, C., & Lewis, R. W. (1975). Associated and non-associated visco-plasticity and plasticity in soil mechanics. *Géotechnique*, *25*(4), 671-689.

THE ROLE OF HORIZONTAL DRILLING AND HYDRAULIC FRACTURING IN THE US SHALE REVOLUTION

Binh T. Bui[1,*]
[1]*PetroVietnam University*
[*]*Email: binhbt@pvu.edu.vn*

Abstract

The shale revolution has been primarily driven by technological advancements, most notably, horizontal drilling and hydraulic fracturing, which have enabled the efficient extraction of hydrocarbons from previously inaccessible shale formations. Horizontal drilling maximizes reservoir contact from a single surface location, reducing costs and enhancing productivity. Hydraulic fracturing further improves recovery by significantly increasing permeability and enabling commercial flow rates in ultra-low-permeability rocks. Together, these technologies have dramatically reduced well construction times, from several weeks to just over one wee, lowering development costs and accelerating production cycles. This paper examines the evolution and application of horizontal drilling and hydraulic fracturing, traces their historical development, and assesses their transformative impact on the oil and gas industry. The study also explores how these innovations have influenced global oil markets and provides insights into their future role amid shifting energy dynamics.

***Keyword**:* Directional drilling; Hydraulic fracturing; Shale revolution.

1. Unconventional Resources

Unconventional reservoirs are characterized by formations in which hydrocarbons are trapped within rocks exhibiting extremely low permeability and porosity, typically less than 10% porosity and permeability values ranging from nanoDarcies to microDarcies. Due to these characteristics, hydrocarbons cannot migrate naturally to the wellbore at commercially viable flow rates without stimulation. As a result, producing from shale and other unconventional plays requires more complex and capital-intensive development strategies compared to conventional reservoirs.

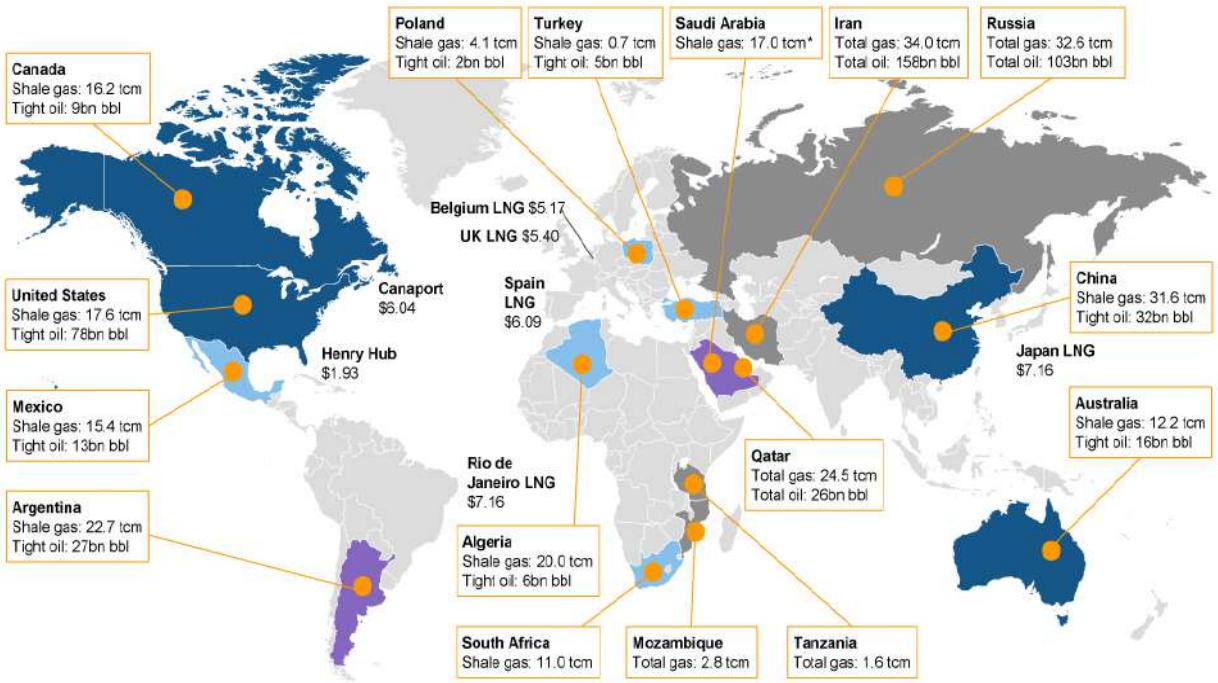


Figure 1. World map of shale reserves (World Energy Council, 2016).

Despite substantial technical challenges and relatively narrow profit margins, the global resource potential of unconventional oil and gas remains significant. Estimated recoverable reserves include approximately 419 billion bbl of unconventional oil and around 7,576 Tcf of unconventional natural gas. To date, roughly 50 countries have been identified with prospective unconventional resources and have initiated exploration or development efforts. The largest unconventional gas reserves are found in China, Argentina, Algeria, the U.S., and Canada. For unconventional oil, the leading countries are the U.S., Russia, China, Iran, and Argentina (Figure 1). These numbers underscore the strategic importance of unconventional oil and gas in the global energy landscape, particularly as reserves and production from conventional fields continue to decline.

Since the early 1990s, advancements in directional drilling have enabled the widespread development of horizontal wells in the U.S. These wells are designed to extend laterally within the target reservoir, significantly increasing the wellbore's exposure to the hydrocarbon-bearing zone. Concurrently, the deployment of hydraulic fracturing has allowed operators to induce hundreds of artificial fractures along the horizontal section, dramatically enhancing reservoir permeability and enabling commercial hydrocarbon flow. In modern shale plays, horizontal laterals typically range from 3 to 5 kilometers in length, and when combined with multi-stage hydraulic fracturing, can deliver initial production rates to over one thousand barrels per day (bpd).

Despite these advancements, shale wells exhibit steep production decline rate, often falling by 80 to 90 percent within the first 1 to 2 years. This behavior is inherent to the ultra-low permeability nature of the source rock. Even with optimized completion designs and stimulation techniques, estimated ultimate recovery remains low, typically 4 to 7% for oil and 20 to 30% for gas. In contrast, conventional reservoirs can achieve average recovery factors of approximately 30% for oil and up to 60 to 90% for natural gas. These technical constraints translate into low profits, prompting operators to aggressively manage operating costs. Moreover, shale operations are highly price-sensitive, with breakeven oil prices generally falling in the range of 40 to 50 USD per barrel.

2. Shale revolution

The growth of the U.S. oil and gas industry over the past two decades has been driven by the convergence of several key enablers, namely regulatory policy, access to capital, and technological advancement. One of the structural advantages of the U.S. system is its legal framework, which allows for private ownership of subsurface mineral rights. This has enabled a highly competitive market, allowing thousands of private companies to engage in exploration and production activities. In the aftermath of the early-2000s dot-com collapse, a series of federal stimulus programs, alongside accommodative monetary policy, redirected capital flows into oil and gas sector. These favorable macroeconomic conditions, coupled with consistent demand growth, created a stable and resilient energy market over the last three decades. Additionally, the U.S. financial system have played a pivotal role in supporting the shale revolution. Well-developed capital markets have provided efficient and scalable financing mechanisms for high-risk, capital-intensive shale projects. This access to capital has been instrumental in enabling rapid technology deployment and project execution across the sector. In addition, favorable tax policies, modern transportation infrastructure, a highly competitive market environment, and a culture of transparency have all contributed to building a dynamic and efficient oil and gas ecosystem.

In the aftermath of the 1973 and 1979 oil crises, the U.S. government identified reliance on imported oil, particularly from the Middle East, as a critical vulnerability to national security. In response, a long-term strategic framework was developed to enhance domestic oil and gas production capacity, with a particular emphasis on advancing technological innovation to improve energy efficiency and hydrocarbon recovery. This strategy was operationalized through the creation and sustained funding of large-scale federal research initiatives targeting unconventional

hydrocarbon development. Notably, substantial resources were directed toward shale oil and gas, which had long been recognized as having significant in-place volumes but remained technically and economically inaccessible under conventional production methods at the time.

Over the past two decades, the U.S. has experienced a dramatic surge in oil and gas production. Since 2008, crude oil output has increased from approximately 5 million bpd to over 12 million bpd (Figure 2), allowing the U.S. to surpass both Saudi Arabia and Russia to become the world's largest crude oil producer (EIA 2023). In 2023, average daily crude oil production reached 12.9 million bbl, maintaining the U.S. leading global position, compared to Saudi Arabia (~10.2 million bpd) and Russia (~9.4 million bpd). The U.S. is also the world's largest natural gas producer, with an annual output of around 36 Tcf, roughly equal to the combined production of Russia (~22 Tcf/year) and Iran (~9 Tcf/year). The U.S. held approximately 47.1 billion bbl of crude oil reserves and 374.3 Tcf of natural gas (EIA 2024b). In terms of oil reserves, the U.S. ranks 11th globally, significantly lower than Venezuela (~303 billion bbl), Saudi Arabia (~267 billion bbl), and Russia (~108 billion bbl). Regarding natural gas, U.S. reserves amount to only about 22% of Russia's (~1,688 Tcf) and 31% of Iran's (~1,203 Tcf), the two leading countries in gas reserves. Although Vietnam's oil reserves (~4.4 billion bbl) are roughly 9% of those of the U.S., its crude oil production is only slightly more than 1% of U.S. output. A similar pattern is seen with natural gas: Vietnam's production is around 1% of the U.S. level, while its reserves are about 6.7% of those of the U.S.

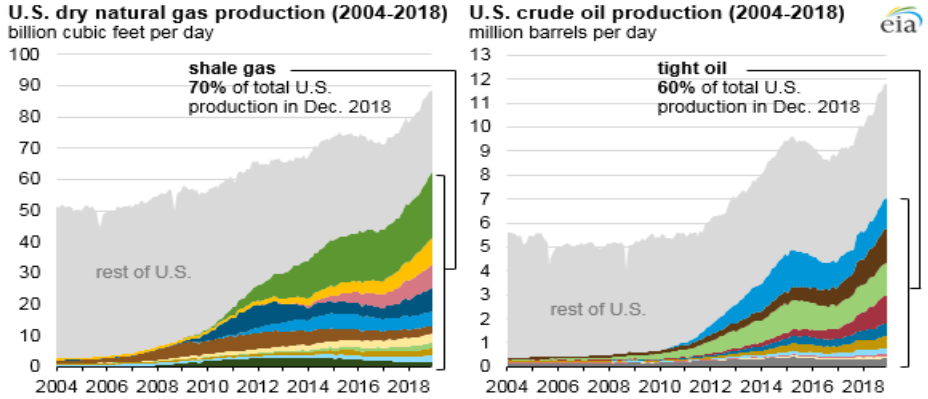


Figure 2. U.S. oil and gas production over the years (EIA, 2019).

The shale oil and gas revolution in the U.S. has yielded critical insights that are increasingly applicable to conventional hydrocarbon production. One key advancement is the optimization of horizontal drilling, particularly the use of extended-reach laterals. In parallel, hydraulic fracturing technology has enabled the creation of extensive fracture networks along horizontal wellbores facilitating the commercial flow of hydrocarbons. Although originally developed for ultra-low-permeability shale plays, hydraulic fracturing is now widely employed in conventional reservoirs immediately following well completion to stimulate production. The proactive application of fracturing in conventional reservoirs has become standard practice, aimed at maximizing recovery efficiency from the earliest stages of the well lifecycle, particularly during periods of elevated oil prices, as seen in the past decades.

It is expected that the application of key technologies developed through shale oil and gas operations, namely horizontal drilling, hydraulic fracturing, and enhanced oil recovery techniques, will significantly improve recovery factors and economic performance in conventional reservoirs as well. These innovations reduce production costs, thereby enhancing the overall competitiveness of upstream operations. As these technologies are deployed more extensively, they are likely to contribute to a sustained increase in global oil supply over the medium to long term. In the context of sluggish energy demand growth driven by the coming financial market uncertainties and the accelerating transition toward renewable energy. This supply-side expansion may exert downward pressure on oil prices, increasing the likelihood of heightened market volatility in the years ahead.

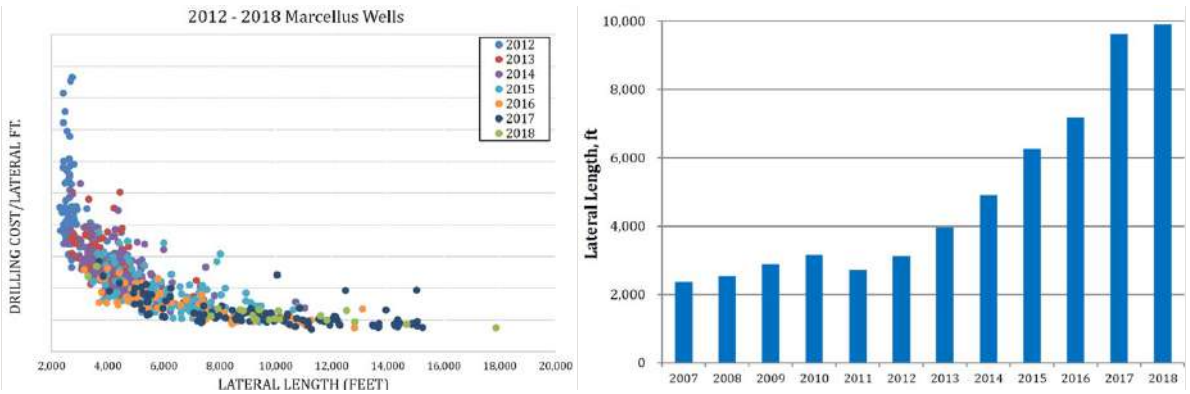
3. Horizontal drilling

Since the late 19th century, several key inventions have marked the development of directional drilling. The whipstock, first used in the 1890s in California, was the earliest tool that allowed drillers to deflect the drill bit and change the direction of the wellbore. In 1929, H. John Eastman invented the magnetic survey tool, which was first applied in Huntington Beach, California. This technology enabled the measurement of wellbore inclination and azimuth, opening the door to modern directional drilling. By the 1940s, the introduction of bent subs and downhole motors allowed for more flexible directional control, reducing reliance on the rotation of the drill string. The combination of the whipstock, bent sub, and downhole motor eventually formed a standardized directional drilling assembly, which still remains widely used in the industry today.

The introduction of measurement-while-drilling (MWD) systems in the 1970s significantly improved drilling accuracy and efficiency by providing real-time data on wellbore inclination and azimuth. In 1978, Teleco Oilfield Services, in collaboration with the U.S. Department of Energy, tested the transmission of signal pulses through drilling mud, which led to the development of continuous downhole measurement technology in the early 1980s. MWD played a crucial role in reducing both the time and cost of directional drilling, enabling drillers to precisely steer wells in the desired direction and paving the way for horizontal drilling. In other words, the ability to measure and track the well trajectory in real time became the foundation for directional drilling technology. This measurement innovation, along with other modern tools in use today, are the direct result of government-backed research investments made in the late 1970s.

The next major breakthrough in directional drilling came in the 1980s, when horizontal drilling was successfully applied in the Barnett Shale in Texas. This opened up the ability to access reservoirs with horizontal wells, greatly expanding the potential of unconventional resource development. Starting in the 1990s, the development of rotary steerable systems allowed for continuous adjustment of the drilling direction without stopping the rotation of the drill string. This innovation enabled precise wellbore trajectory control, significantly improving drilling efficiency and accuracy.

Beyond the well-known advantages of directional drilling, horizontal wells offer a major benefit to shale formation by extending the wellbore section in the reservoir. This increases the contact area between the well and the formation by 20 to 30 times compared to a vertical well. Expanding the flow area from the reservoir into the well not only enhances hydrocarbon recovery but also improves the effectiveness of hydraulic fracturing by creating more extensive flow channels, thereby boosting production. As a result, the amount of oil or gas recovered from a single well can be several times higher, while the overall cost does not rise proportionally. Although longer horizontal sections increase total drilling costs, the cost per unit length of wellbore decreases significantly as lateral length increases (**Figure 3a**). This explains the current trend in drilling longer laterals, typically ranging from 3 to 5 kilometers (**Figure 3b**). This approach has become a key factor in helping unconventional oil and gas producers reduce costs and improve economic efficiency.



a. Well cost per unit length *b. Trend in lateral length*

Figure 3. Well cost per unit length and trend in lateral length in Marcellus (Doak et al., 2018).

The U.S. is the pioneer and global leader in the application of horizontal drilling. Since 2010, horizontal drilling has become the standard method for shale oil and gas development, especially in key regions such as the Permian Basin, Eagle Ford, Marcellus, and Haynesville. Today, the vast majority of new wells in the U.S. use horizontal drilling combined with hydraulic fracturing. As of the end of 2023, nearly 200,000 horizontal wells had been drilled in the U.S. While this number is still relatively small compared to the more than 4 million wells already drilled across the country (Figure 4), data from the EIA (2024b) shows that over 80% of all new wells drilled in 2023 were horizontal. Horizontal wells have become the norm and in the case of shale oil and gas, a necessity. This is also the emerging global trend for future oil and gas development.

Compared to conventional oil and gas wells, shale wells are typically drilled much faster thanks to significant technological advancements. While a conventional well can take one to three months to complete (Figure 5a), a shale well usually takes only one to two weeks to drill (Figure 5b). The total well completion time, including hydraulic fracturing, is generally around two to three weeks, and often less than two weeks. This high drilling speed is made possible by three main factors. First, modern drilling technologies with precise steering capabilities reduce the time needed for drilling the horizontal section. Second, multiple wells are often drilled from a single well pad, which minimizes rig setup and relocation time. Third, performance improves over time as drilling crews gain experience and optimize processes for each well. In addition, shale wells are usually slim-hole wells with one casing string, which significantly reduces the time required for casing and cementing operations, allowing for continuous drilling without major interruptions.

Reducing drilling time is one of the key factors driving down costs in shale oil and gas development. With rig rental and operation costs ranging from $30,000 to $100,000 per day, shortening the drilling period can save millions of dollars per well. Drilling costs per foot have decreased significantly, particularly through the use of slim-hole designs (Figure 6), bringing costs down to as low as $0.20 per foot. This allows a 7-kilometer well to be drilled for around $5 million. According to EIA reports, the cost of drilling and completing a shale well in the Permian Basin has dropped from about $10 million in 2012 to around $6 million in 2023. Similarly, in the Eagle Ford (Texas), the total cost of drilling and completing a well with a vertical depth of 10,000 ft and a lateral length of 9,600 ft (or 6 km MD) is now under $10 million, as summarized in Figure 7.

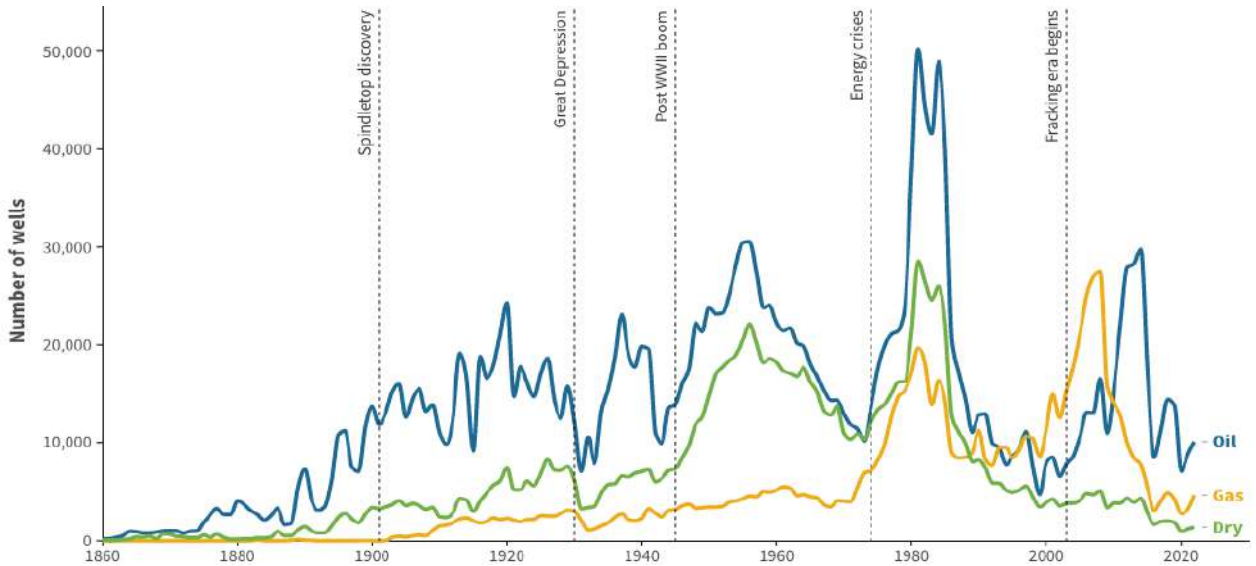
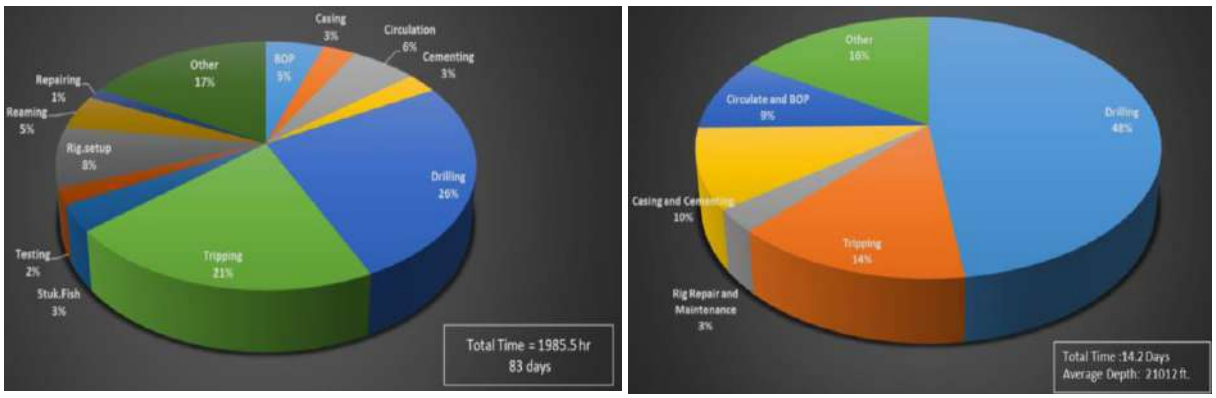


Figure 4. Annual count of new wells in the U.S. (IGS, 2025).



a. Wells in conventional reservoirs *b. Wells in shale formations*

Figure 5. Time required to drill conventional and shale wells (AlMuhaideb và Noynaert, 2021).

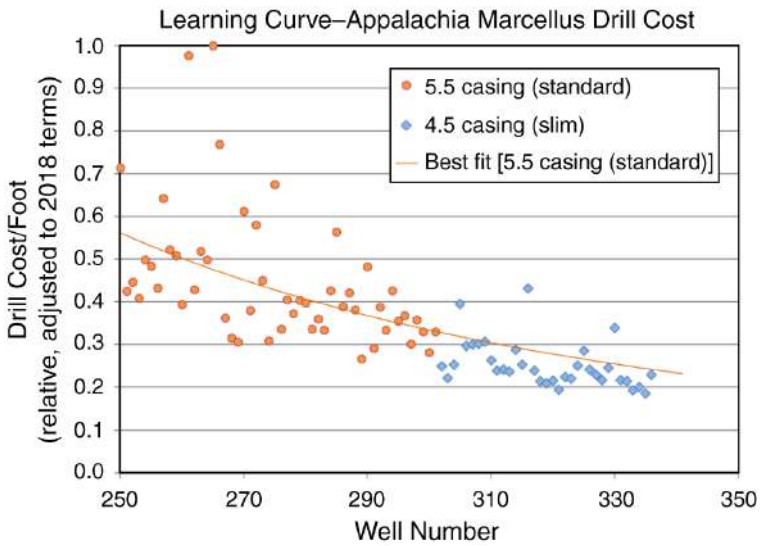


Figure 6. Drilling cost per foot at the Marcellus shale (Schumacker and Volgelsberg, 2019).

One critical factor to note is the exceptionally high number of new wells drilled annually in the U.S., with some years exceeding 50,000 wells (Figure 4). In recent years, the U.S. has drilled approximately 15,000 to 20,000 new oil and gas wells each year, accounting for more than one-third of all new wells worldwide (Figure 8). The total annual cost of drilling and completing these wells in the U.S. is nearly equivalent to Vietnam's GDP in 2020. Although shale wells typically have lower individual production rates and much faster decline curves compared to conventional wells, the high number of wells has helped offset production decline. Unlike the traditional model that focuses on maximizing recovery at the field level, unconventional oil and gas development in the U.S. is largely driven by increasing well density and optimizing output at each individual well. This reflects a shift away from a resource-based extraction model, where large oil companies dominated due to favorable geology, toward a more industrialized drilling approach that allows participation from a wide range of companies. As a result, the industry has seen increased competition, technological innovation, and significant private-sector investment in oil and gas development.

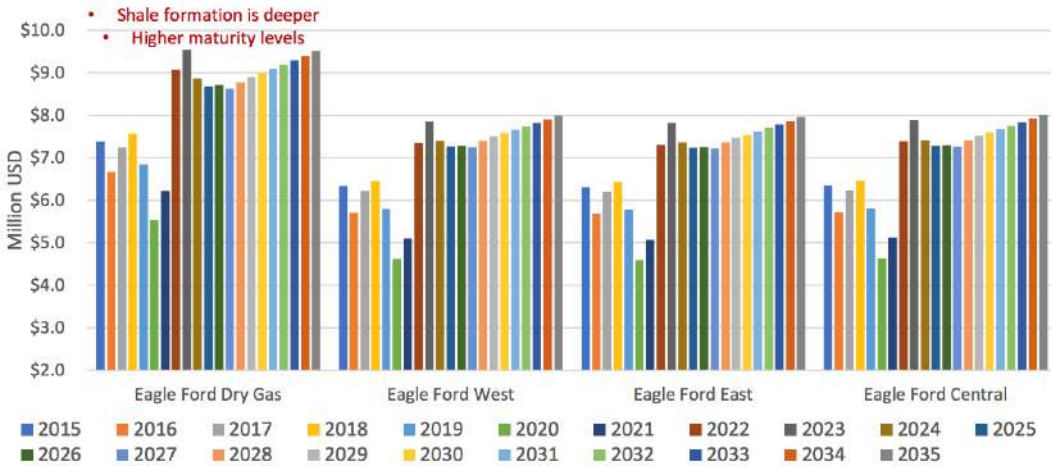


Figure 7. Drilling and completion costs in the central Eagle Ford (Mubarak et al., 2019).

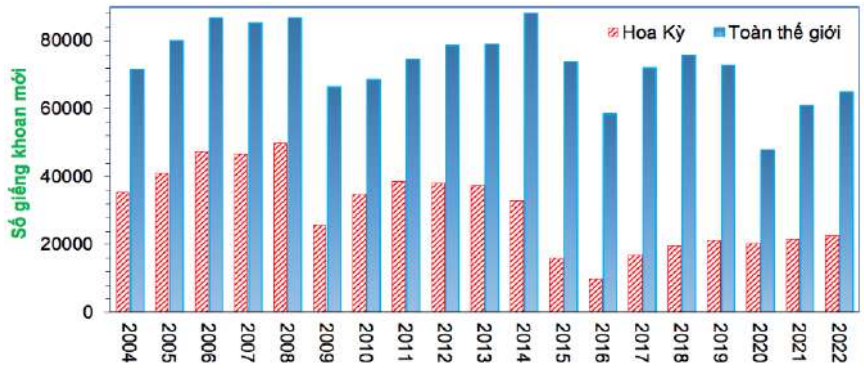


Figure 8. Number of new wells drilled worldwide each year (Bui and Luong 2024).

In addition to its large-scale, industrialized model, a key factor enabling the U.S. to sustain a high drilling intensity is the development of a deep, competitive oilfield services market. Currently, there are hundreds of private companies in the U.S. capable of participating in the drilling process, with the technical expertise required to execute complex horizontal wells. This has created a diverse and dynamic service market that fosters technological innovation, reduces costs, shortens deployment timelines, and prevents dependence on a handful of large firms. In contrast, in many other countries, particularly developing nations or those with centralized energy sectors, only national oil companies or large multinational corporations typically have the financial, technical, and regulatory capacity to drill horizontal wells. Such concentration of capabilities often leads to higher costs, and reduced flexibility in responding to market fluctuations.

Another notable difference lies in the structure of the drilling workforce. In the U.S., the majority of personnel involved in well construction are skilled technical workers (mostly high school gradulates) who have received hands-on vocational training. This approach helps lower labor costs and improve operational efficiency. In contrast, in many other countries, drilling operations are still largely carried out by so-called "M.Sc". or even "Ph.D.", leading to higher labor expenses. These differences reflect not only the technical and economic gap between the U.S. and other countries but also help explain why the unconventional model in the U.S. can be deployed on a large scale at a lower cost, despite facing similar geological and technical challenges.

4. Hydraulic fracturing

Hydraulic fracturing is the process of using high-pressure fluid to create fractures around a wellbore, increasing permeability so that fluids can flow more easily toward the well. The process

begins by injecting fluid into the well at very high pressure. This fluid typically consists of water, proppants (usually sands), and a small amount of chemicals. Under intense pressure, the rock formation cracks, forming fractures. The proppant carried by the fluid enters these fractures and holds them open after the pressure is released. The fracturing fluid is composed mainly of water (about 90-95%), combined with sand (5-9%) and a small percentage of chemicals (0.5-2%) that serve specific purposes such as reducing friction, preventing bacterial growth, and erosion control.

The idea of creating fractures in the surrounding well to enhance well productivity has existed for a long time, but it only gained global attention in the early 2000s with the rise of the shale revolution in the U.S. The history of hydraulic fracturing dates back to 1862, when Edward Roberts recognized the potential of using explosives to boost oil production. He applied this method in 1865, and oil production increased by as much as 1,200% within just one week. This technique became widespread in the late 19th and early 20th centuries.

The modern form of hydraulic fracturing we use today began in the 1940s, with research and early experiments led by Floyd Farris at Stanolind Oil and Gas Company (now part of BP). In 1947, the first hydraulic fracturing test was conducted in southwestern Kansas. Although the attempt was not successful, it marked the beginning of modern hydraulic fracturing. By 1949, Halliburton successfully carried out two commercial trials, paving the way for the widespread commercialization of the technique through the 1960s and 1970s. In the early stages, water was used as the base fluid, and sand served as the primary proppant. In the 1970s, polymers were introduced to increase the viscosity of the fluid, allowing it to be used more effectively in high-temperature reservoirs. During the oil crisis of the 1970s, the U.S. government funded extensive research into improving hydraulic fracturing techniques. These efforts focused on optimizing fracturing fluids and scaling up pumping operations. Additives were introduced to adjust fluid viscosity, reduce friction, eliminate bacteria, and protect equipment from corrosion. As a result, the ability to carry proppants deep into the fractures was significantly improved. At the same time, new types of proppants were developed, ranging from natural sand to lightweight ceramics and even aluminum-based materials, enhancing overall stimulation effectiveness.

During the 1980s and 1990s, advances in well monitoring and measurement technologies allowed engineers to better understand how fractures form and propagate. Real-time measurement of pressure, temperature, and flow rates, combined with geological modeling, enabled operators to adjust operation, greatly improving both safety and efficiency. This period also saw the introduction of digital simulation models used to design customized fracturing programs. Software allowed engineers to simulate fracture geometry, pressure behavior, pump rates, and proppant effectiveness before actual field execution. These tools helped optimize fluid selection, injection strategies, and proppant placement. By the late 1980s, slickwater, a low-viscosity fracturing fluid with friction-reducing additives, was experimentally introduced. Although its use was initially limited, slickwater later became a core component of modern shale fracturing due to its cost-effectiveness and ability to create long fractures in low-permeability formations. In the late 1990s, multi-stage hydraulic fracturing began to emerge, especially in horizontal wells targeting shale formations. A major breakthrough came in 1998, when Mitchell Energy successfully carried out a multi-stage fracturing operation in a horizontal well in the Barnett Shale in Texas. This milestone marked the beginning of the shale oil and gas revolution in the U.S.

Over the past decade, hydraulic fracturing technology has made significant improvements, with a growing focus on technical efficiency, automation, and reducing environmental impact. One major development is the widespread use of long horizontal wells with more fractures, typically 30 to 60 stages, to maximize production. These wells are often drilled in parallel from a single pad, typically spaced more than 600-1300 ft apart, creating a well array that improves overall economic efficiency. Traditional sand was being replaced by advanced alternatives such as ultralightweight proppants, resin-coated proppants, and smart proppants to maintain conductivity and withstand high formation stresses. New-generation slickwater fluids maintain

low viscosity while still effectively transporting proppants, while minimizing the use of harmful chemicals. Advanced monitoring technologies are now commonly used to evaluate and optimize fracturing performance. Micro-seismic monitoring is one of the most widely adopted methods, enabling operators to track the orientation and extent of fracture growth within the reservoir. Fiber-optic systems using DAS (Distributed Acoustic Sensing) and DTS (Distributed Temperature Sensing) provide real-time data on acoustic signals and temperature changes within the well. Digital monitoring platforms and real-time data analytics powered by artificial intelligence are also becoming standard tools. These systems allow operators to make dynamic adjustments during fracturing operations, enhancing efficiency, reducing costs, and minimizing environmental footprint.

Since its commercialization in the late 1990s, hydraulic fracturing has been widely adopted across the U.S. Based on data from the Independent Petroleum Association of America (IPAA, 2018), we can estimate that over 2 million wells have fractured in the U.S., in both conventional and shale formations. The vast majority of shale oil and gas wells are hydraulically fractured, with an additional 10,000 to 20,000 new wells drilled and fractured each year, primarily concentrated in regions such as the Permian Basin and Marcellus Shale. According to IPAA (2018), hydraulic fracturing has enabled the production of more than 7 billion bbl of oil and 600 Tcf of natural gas. A study by Harvard University estimated that shale oil and gas development created around 2.7 million jobs in the U.S. during the first decade of the shale revolution. Furthermore, a 2013 report by the U.S. Chamber of Commerce projected that hydraulic fracturing would generate 3.5 million jobs in the country by 2035.

To successfully perform hydraulic fracturing, each well typically requires between 10,000 and 40,000 cubic meters of water, along with 1,500 to 3,000 tons of proppant. On average, the U.S. uses about 400 million cubic meters of water annually for hydraulic fracturing, roughly equivalent to the yearly domestic water consumption of a city the size of Hanoi city. In terms of cost, hydraulic fracturing alone typically accounts for around 4 to 6 million USD per well, representing about 40-60% of the total well development cost depending on the specific well and reservoir conditions. For instance, at the Eagle Ford shale play (Figure 10), the largest cost component is completions tangibles, making up around 40-50% of the total cost. This is followed by well fracturing services, which account for about 20-25%. The cost of proppants, such as frac sand, typically represents 10-15%, while other expenses include fracturing fluids and coil tubing operations.

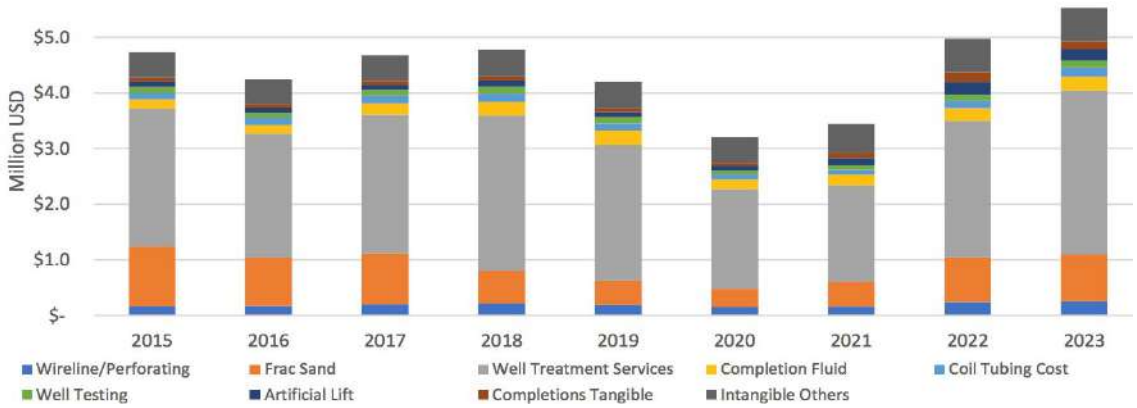


Figure 10. Component of fracturing costs in the central Eagle Ford (Mubarak et al., 2019).

One of the key factors behind the success of hydraulic fracturing in the U.S. lies not only in the technology itself but also in the country's unique oil and gas service market. Unlike many other nations, where fracturing operations are typically limited to a few state-owned enterprises, the U.S. has a highly competitive and diverse service sector. There are dozens, even hundreds, of private companies capable of independently providing the full range of equipment, chemicals, manpower, and operations required for hydraulic fracturing operations. This transparent market helps lower

costs, accelerates deployment, drives continuous innovation, and allows for rapid industrial-scale expansion. In addition, the workforce model relies on skilled technicians, with only a small number of technical experts involved. This efficiency is made possible through standardized procedures and increasing automation of the fracturing process. This contrasts with other countries, where substantial government spending on education does not necessarily translate into technical advancement. This explains why the shale revolution could not have happened anywhere else, but the United States.

5. Concluding remarks

The shale revolution has fundamentally reshaped the global energy landscape, with the United States at the forefront of this transformation. Enabled by the convergence of horizontal drilling, hydraulic fracturing, favourable regulatory frameworks, and an agile service market, the U.S. shale revolution demonstrates how technological innovation, market competition, and supportive policy can unlock previously inaccessible resources on a massive scale.

While unconventional reservoirs pose significant technical and economic challenges, advances in drilling and completion technologies have made it possible to produce hydrocarbons efficiently from ultra-low-permeability formations. Horizontal drilling has drastically increased reservoir contact, while hydraulic fracturing has improved reservoir conductivity, together maximizing production from individual wells. Cost reductions, speed of execution, and high drilling intensity have been critical to maintaining economic viability despite steep production decline rates and price volatility.

What sets the U.S. apart is not just the adoption of these technologies, but the ecosystem in which they have flourished, characterized by private ownership of mineral rights, access to capital, a competitive oilfield services sector, and a skilled, technically trained workforce. These structural advantages have enabled the U.S. to lead the world in both oil and natural gas production, even though its resource base, in terms of reserves, is not the largest globally.

Importantly, the innovations developed for shale have also found increasing application in conventional fields, enhancing global recovery rates and driving industry-wide efficiency. As the energy transition gains momentum and demand patterns shift, the ability to produce hydrocarbons quickly and cost-effectively will have major impact on oil market in the comming years. Lessons learned from the U.S. shale revolution offer valuable insights not only for future resource development, but also for shaping resilient, adaptive, and innovative energy strategies worldwide.

Reference

AlMuhaideb A. and Noynaert S. 2021. A 20 years systemic study of drilling practices in a geothermal venture reveals insightful findings. Paper *SPE*-206092-MS presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Dubai, UAE. DOI: 10.2118/206092-MS.

Bui B.T. and Luong H.L. 2024. Effect of field viscometer dial readings on the estimation of drilling fluid frictional pressure loss using Herschel-Bulkley model. *Geoenergy Science and Engineering Journal*, 236: 212697. DOI: 10.1016/j.geoen.2024.212697.

Doak, J, Kravits, Spartz, M. and Quinn, P. 2018. Drilling extended laterals in the Marcellus shale. Paper SPE-191783-18ERM-MS presented at the *SPE*/AAPG Eastern Regional Meeting, Pittsburgh, Pennsylvania, USA. DOI: 10.2118/191783-18ERM-MS.

EIA. 2024a. U.S. crude oil production established a new record in August 2024. *U.S. Energy Information Administration.* Link: https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=63824.

EIA. 2024b. U.S. crude oil and natural gas proved reserves: Year-end 2023. *U.S. Energy Information Administration*. Link: https://www.eia.gov/naturalgas/crudeoilreserves.

EIA. 2023. EIA adds new play production data to shale gas and tight oil reports. *U.S. Energy Information Administration*. Link: https:// www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=38372.

EIA. 2019. U.S. crude oil production established a new record in August 2024. *U.S. Energy Information Administration*. Link: https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=63824.

IGS. 2025. Four million wells and counting: The history of oil and gas drilling in the U.S. Link: https://visualizingenergy.org/four-million-wells-and-counting-the-history-of-oil-and-gas-drilling-in-the-u-s.

IPAA. 2018. Hydraulic fracturing. Link https://www.ipaa.org/fracking. Truy cập ngày 10/5/ 2025.

Mubarak S., Shawaf A., and MacPhee M. 2025. Unconventional resources well cost benchmarking study: trends, forecasts, and operator efficiency. Paper URTEC-4220852-MS presented at the *SPE/AAPG/SEG Unconventional Resources Technology Conference*, Houston, Texas, USA.

Schumacker E. and Volgelsberg P. 2019. Slimhole Unconventional Well-Design Optimization Enables Drilling Performance Improvement and Cost Reduction. *SPE Drilling & Completion,* **34** (04), pp. 426-440. DOI: 10.2118/192953-PA.

World Energy Council. 2016. World energy resources: Unconventional gas - a global phenomenon.

THIẾT KẾ TỐI ƯU CHOÒNG KHOAN ĐA TINH THỂ (PDC) ĐỂ KHOAN QUA ĐỊA TẦNG MIOCENE HẠ TẠI MỎ X, BỂ NAM CÔN SƠN

Đỗ Quang Khánh[1,*], Tạ Văn Cường[2], Trần Quan Long[1]
[1]Trường Đại học Dầu khí Việt Nam - Tập đoàn Công nghiệp - Năng lượng Quốc gia Việt Nam
[2]Công ty Điều hành Dầu khí Biển Đông - Tập đoàn Công nghiệp - Năng lượng Quốc gia Việt Nam
**Tác giả liên hệ: Email: khanhdq@pvu.edu.vn; ORCID: 0000-0003-2872-5743*

Tóm tắt

Nhiều chủng loại choòng khoan đa tinh thể (PDC) khác nhau đã được sử dụng ở các công đoạn khoan trong địa tầng Miocene hạ tại khu vực mỏ X, bể Nam Côn Sơn nhằm mục đích cải thiện tốc độ khoan (ROP) nhưng hiện tượng tốc độ khoan chậm không như thiết kế đã xảy ra ở hầu hết các giếng mỏ khu vực địa tầng này, đặc biệt trong môi trường áp suất cao, nhiệt độ cao. Trong bài báo, các thách thức khi khoan qua địa tầng Miocene hạ ở điều kiện nhiệt độ cao, áp suất cao, và các ảnh hưởng trực tiếp lên các choòng khoan PDC của các thành hệ cứng dẻo đã được đề cập. Mối tương quan giữa tải trọng lên choòng (WOB), tốc độ khoan (ROP), sự rung lắc của bộ khoan cụ, thời gian khoan thực cũng như các công đoạn khoan thân trần rất dài và các vấn đề làm sạch mùn khoan cũng được bàn thảo một cách chi tiết. Sau đó, từ nghiên cứu vật liệu mẫu lõi tại địa tầng Miocene hạ của các giếng tại mỏ X một đề xuất với nhà sản xuất đã được đưa ra nhằm thiết kế một loại choòng khoan PDC mới phù hợp với các tính chất của địa tầng này bằng các phân tích mô phỏng như việc thay đổi đường kính hạt tinh thể, các khe dẫn thủy lực, cũng như tối ưu vị trí đặt các đầu phun thủy lực nhằm chống bó cứng choòng khoan.

Việc ứng dụng choòng khoan PDC mới, được đặt tên là choòng khoan PDC Sdi419 để khoan các giếng sau đó ở tầng Miocene hạ, đã chứng minh hiệu quả hoạt động của nó rất cao như làm tăng đáng kể tốc độ khoan, giảm thiểu hiện tượng rung lắc mạnh bộ cần khoan. Ngoài ra, choòng khoan này cùng đã được sử dụng khi khoan những công đoạn khoan dài xấp xỉ gần 1.010m thân trần thành công và được đánh giá rất tốt sau khi hoàn thành công đoạn khoan qua địa tầng Miocene hạ, nhờ việc điều chỉnh chế độ thủy lực khoan đã giúp cải thiện được vấn đề làm sạch mùn khoan.

Từ khóa: Choòng khoan đa tinh thể (PDC), kiểm soát độ rung lắc, tốc độ khoan (ROP).

1. Đặt vấn đề

Bể Nam Côn Sơn (NCS) có cấu trúc rất phức tạp do hoạt động đứt gãy đã tạo nên các khối nâng, sụt phân bố không theo quy luật đặc trưng nào. Dựa theo đặc điểm cấu trúc của móng trước Đệ Tam có thể phân chia các đơn vị cấu trúc của bể NCS ra các đơn vị cấu trúc khác nhau, bao gồm Đới phân dị phía Tây, Đới phân dị chuyển tiếp và Đới trũng phía Đông, trong đó các lô 05-2 và 05-3 nằm ở Đới trũng phía Đông. Mỏ X nằm ở hai phần nâng có biên độ nhỏ, được tạo thành do hệ thống đứt gãy chính phát triển theo hướng Bắc - Nam. Các vỉa chứa cát kết thuộc các hệ tầng từ Miocene hạ đến Miocene thượng. Cát kết Miocene hạ được lắng đọng trong môi trường quạt cửa sông. Các tập cát này có tính chất chứa kém đến trung bình. Cát kết trong Miocene trung và Miocene thượng chủ yếu được lắng đọng trong môi trường turbidite biển sâu, tính chất chứa tốt và rất tốt. Các vỉa chứa nằm ở độ sâu từ 2.800 mTVD đến 4.500 mTVD. Vỉa thuộc Miocene hạ có nhiệt độ và áp suất rất cao. Vỉa chứa thuộc Miocene trung và Miocene thượng có nhiệt độ và áp suất gần với ngưỡng áp sất cao. Các vỉa chứa phân bố ở diện rộng cả về chiều thẳng đứng lẫn chiều ngang và hầu hết không liên thông với nhau (Nguyễn Giao và Nguyễn Trọng Tín, 2007; Phạm Bảo Ngọc và Trần Nghi, 2016).

Mỏ X được khoan thăm dò và phát hiện từ năm 1995 (giếng thăm dò HT-1X) sau đó được tiếp tục khoan thẩm lượng đánh giá vào năm 1996 cho kết quả tốt. Kết quả thăm dò cho thấy Khí và Condensate được tìm thấy ở các vỉa như UMA (Upper Miocene), MMH (Middle Micocene Horst),

MMF (Middle Miocene Flank), LMH (Lower Miocene), các vỉa này cho trữ lượng thương mại khá lớn đối với sản lượng khí nhiều ở lô 05-3 và condensate tập trung nhiều ở Lô 05-2, các mỏ khí - condensate này nằm rải rác từ khoảng khoan 12-1/4" xuống tới khoảng khoan 8-1/2". Đối với khoảng khoan 12-1/4" tập trung khai thác các vỉa trên như UMA, UMB, MMF, MMH, còn khoảng khoan 8-1/2" tập trung các vỉa sâu như LMH. Các giếng khoan tại mỏ này hầu hết có độ sâu trung bình trên 3,800 mTVD/4500 mMD. Các khoảng khoan này đều phải sử dụng choòng khoan PDC để thực hiện [3,4]. Đối với khoảng khoan 8-1/2" với khoảng gradient của áp suất vỉa/vỡ vỉa (PP/FG) rất hẹp, cá biệt có giếng chỉ đạt cửa sổ khoan từ 1.5-2.0 PP/FG nên việc thực hiện thi công khoan gặp rất nhiều khó khăn vì phải kiểm soát mất dung dịch khi khoan qua và hệ thống khoan kiểm soát áp suất cũng đã được huy động sử dụng. Các tập cát kết, sét kết xen kẹp nằm phân bố theo dạng xếp lớp (interbeded) đã gây rất nhiều khó khăn thách thức đối với các choòng khoan PDC khi tốc độ khoan không những không được cải thiện mà kéo theo những hệ lụy như các vấn đề làm sạch mùn khoan trong giếng hoặc hiện tượng rung lắc trong quá trình thi công là những thách thức lớn khi thi công qua những tầng địa chất này.

Trong bài báo này, các thách thức khi khoan qua địa tầng Miocene hạ, mỏ X, bể NCS cho thấy ảnh hưởng trực tiếp lên các choòng khoan đa tinh thể PDC đã được khảo sát. Nhằm khắc phục các vấn đề này dựa trên cơ sở nghiên cứu khoa học cùng dữ liệu có sẵn thì cơ sở nghiên cứu và giải pháp thiết kế lựa chọn choòng khoan đã được đề xuất, thực thi qua lưu đồ thiết kế lựa chọn cho choòng khoan PDC 8-1/2". Các kết quả và thảo luận mô phỏng cho thấy việc thay đổi đường kính hạt tinh thể, các khe dẫn thủy lực, cũng như vị trí bố trí các đầu phun thủy lực để tối ưu việc chống bó cứng choòng khoan. Ngoài ra, các so sánh kết quả khoan trước và sau cũng như đánh giá hiệu quả kinh tế cho thấy tính hiệu quả của giải pháp này và cuối cùng là các kết luận được rút ra từ công tác thiết kế lựa chọn choòng khoan 8-1/2" và việc đánh giá hiệu quả sử dụng choòng khoan này khi khoan qua địa tầng Miocene hạ, mỏ X, bể NCS.

2. Cơ sở nghiên cứu và giải pháp thiết kế choòng khoan

2.1 Cơ sở nghiên cứu

Để nghiên cứu cho ra được một choòng khoan phù hợp với những đặc tính thạch học tại khu vực này cần nghiên cứu các đặc điểm sau (R. Nygaard, 2007):

- Đặc tính cơ lý của tầng địa chất khu vực khoan qua;
- Tốc độ khoan (ROP);
- Vận tốc quay (RPM);
- Chiều sâu khoảng khoan;
- Khả năng làm sạch mùn khoan trong giếng, đặc biệt những giếng khoan có góc nghiêng từ 30-60^{o} là thách thức rất lớn;
- Độ rung lắc của bộ khoan cụ đối với các giếng khoan có góc phương vị thường xuyên thay đổi để đạt được mục tiêu giếng khoan;
- Tải trọng lên choòng, v.v.

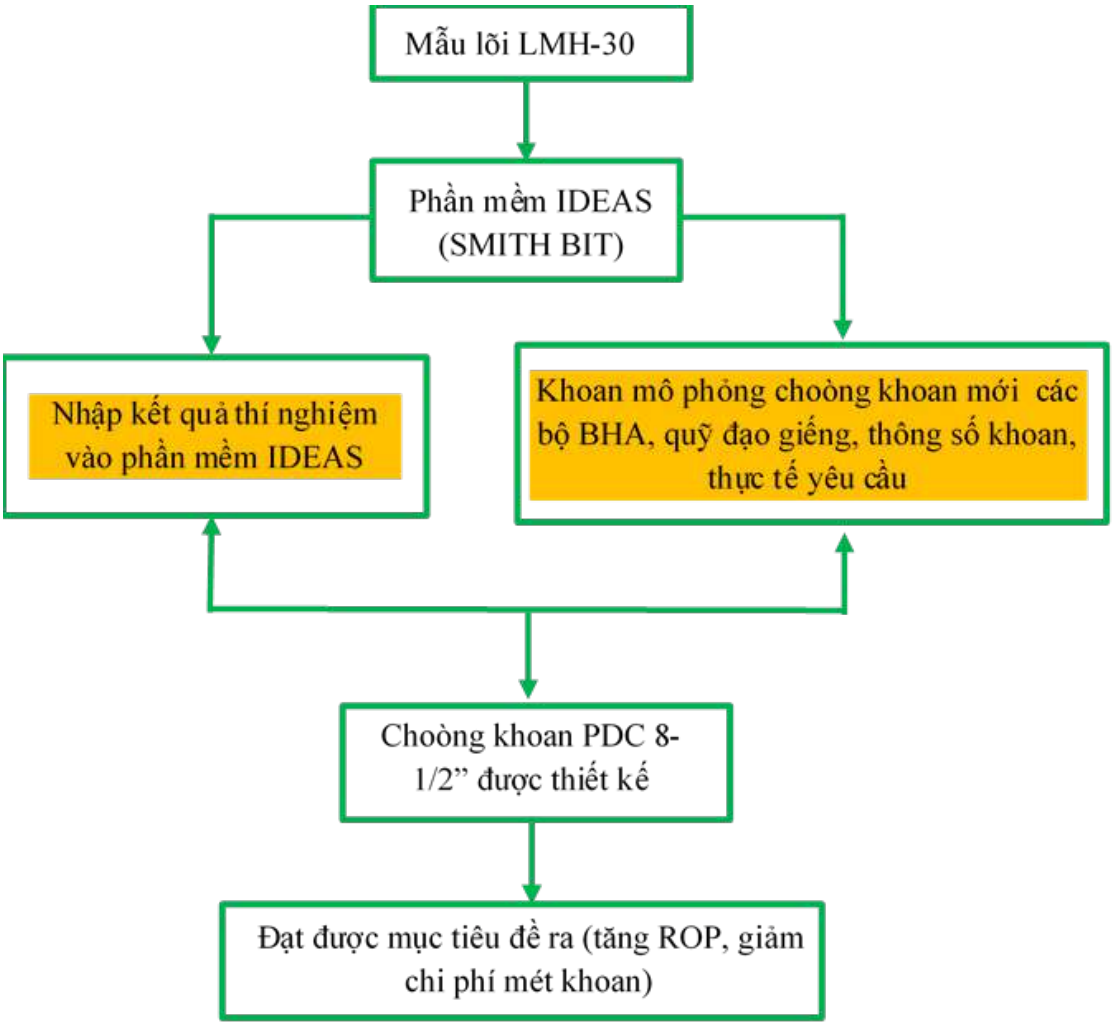
Tốc độ khoan trung bình của các giếng khoan trước khi ứng dụng thiết kế choòng khoan mới được đưa vào sử dụng như bảng sau (Bảng 1). (End of well report, 2014)

Bảng 1. *Bảng thống kê tốc độ khoan trung bình khoảng khoan 8-1/2" PDC (trước khi tối ưu)*

Giếng khoan (sử dụng choòng khoan trước tối ưu)	Tổng số mét khoan	Thời gian khoan, (hr)	Tốc độ khoan, (m/hr)	Tỷ trọng dung dịch, (ppg)	Loại choòng khoan	Giới hạn tốc độ khoan
3P	546	135.6	4.03	17.0	PDC	Không bị giới hạn
1P	476	52.7	9.03	17,7	PDC	Không bị giới hạn
2P	268	86.6	3.09	17,2	PDC	Không bị giới hạn
5P	382	51.1	7.48	17,5	PDC	Không bị giới hạn
5PST	546	136.1	4.01	17,5	PDC	Bị giới hạn

2.2 Trình tự thực hiện các thiết kế

Xuất phát từ các thách thức xảy ra đối với công tác khoan khi khoan qua tầng Miocenece hạ tại mỏ X, bể NCS như ROP thấp, bộ khoan cụ bị rung lắc, thủy lực khoan không tốt, v.v. cùng các dữ liệu sẵn có tại khu vực này và một số công trình liên quan khác (Internal report, 2014; Report, 2013; Graham Mensa-Wilmot, 2003; D.A Clark; 1987), một lưu đồ thiết kế choòng khoan PDC 8-1/2" được đề xuất và thực thi nhằm vượt qua các khó khăn này được thể hiện trên Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ thiết kế lựa chọn choòng khoan PDC 8-1/2"

2.3 Chọn mẫu lõi và thực nghiệm

Mẫu lõi được sử dụng đưa vào thí nghiệm là phần mẫu lõi được lấy từ tầng đá phiến sét phía trên tầng sản phẩm LMH30 để đưa vào tính toán độ bền chặt của phần địa chất tại khu vực này cùng với các dữ liệu về độ bền nén đơn trục đo được trong quá trình thi công (Hình 2) sẽ là dữ liệu đầu vào cho mô hình mô phỏng IDEAS.

Các công tác thực nghiệm tiến hành trên mẫu lõi bao gồm:

- Thí nghiệm cường độ nén của mẫu lõi.
- Thử nghiệm trực tiếp khả năng phá hủy đất đá của răng cắt.
- Thí nghiệm với nhiều kích thước răng cắt khác nhau.
- Lập lại việc thí nghiệm với nhiều độ nghiêng khác nhau của răng cắt.
- Thiết kế, mô phỏng thủy lực của choòng khoan để có chế độ hoạt động tối ưu nhất.

Hình 2. Mẫu lõi được đưa vào thí nghiệm. (Report, 2017)

2.4 Dữ liệu đầu vào cho phần mềm IDEAS

Căn cứ trên các thông số choòng khoan đã và đang sử dụng, cho thấy việc thiết kế các hạt lưỡi cắt cũng như việc thay đổi đường kính hạt đóng vai trò quan trọng trong tạo ra lực cắt phù hợp đối với tầng đá phiến sét có độ bền chặt. Sau nhiều thử nghiệm thì các thông số sau đây được cho là tối ưu với việc tạo ra được lưu lượng dòng chảy tại vòi phun thủy lực.

Bảng 2. *Các thông số đầu vào cho phần mềm IDEAS.*

STT	Thông số	Giá trị
1.	Chiều sâu	16,000ft
2.	Tải trọng lên choòng	10, 20, 30 (klbs)
3.	Tốc độ quay trên bề mặt	160, 170, 180
4.	Dung dịch sử dụng	17.5 ppg
5.	Đường kính hạt lưỡi cắt	19 mm
6.	Thành phần thạch học	Xen kẹp cát kết - sét kết
7.	Độ bền nén đơn trục (UCS)	10-15 (kpsi)
8.	Diện tích thủy lực (TFA)	04 vòi phun (0.519 in^2)

Các thiết kế cho choòng khoan mới như thay đổi đường kính lưỡi cắt, các cánh cắt được mở rộng hơn tạo kênh dẫn dễ dàng hơn, chống bó cứng choòng khoan. Tuy nhiên, lưỡi cắt ăn sâu hơn vào thành hệ có thể gây ra rung lắc choòng và hiệu quả rửa sạch mùn khoan trong giếng có thể bị giảm do hạn chế về thủy lực.

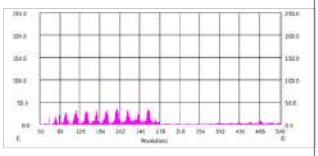
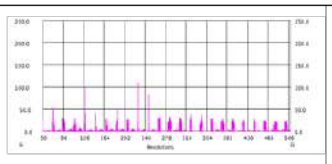
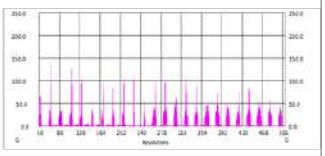
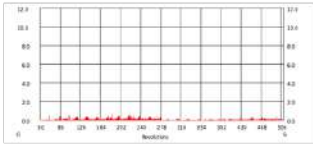
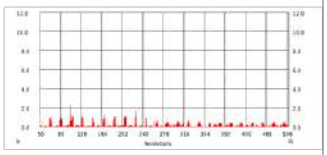
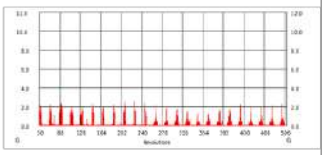
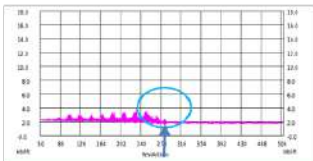
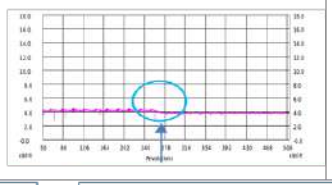
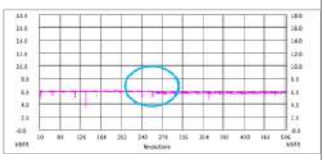
Các thông số đầu vào cho quá trình chạy mô hình như sau: Tầng địa chất là tầng Miocene hạ tại khu vực bể Nam Côn Sơn Việt Nam với thành phần chủ yếu là đá phiến sét, xen kẹp giữa cát kết và sét kết có độ bền nén dọc trục UCS nằm trong khoảng từ 6-10 ksi.

3. Kết quả và thảo luận

3.1 Kết quả đầu ra của phần mềm mô phỏng IDEAS

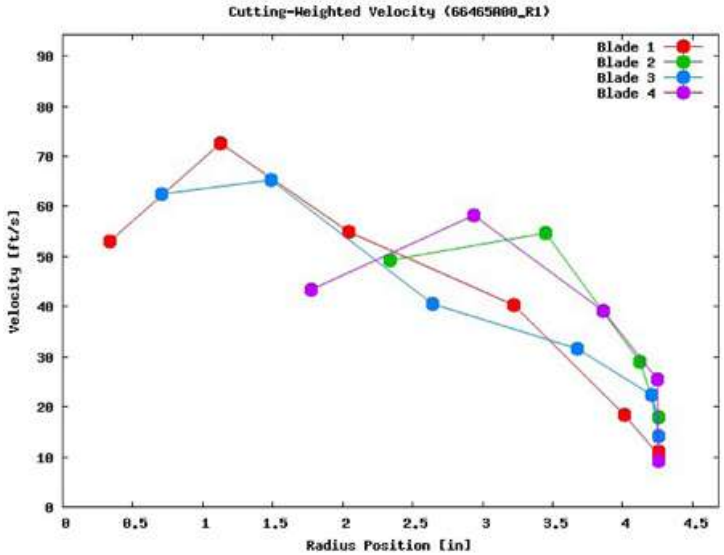
Từ các thông số đầu vào, phần mềm đã cho ra các thông số đầu ra với kết quả rất khả quan cụ thể như sau:

Bảng 4. *Các thông số đầu ra của phần mềm mô phỏng IDEAS.*

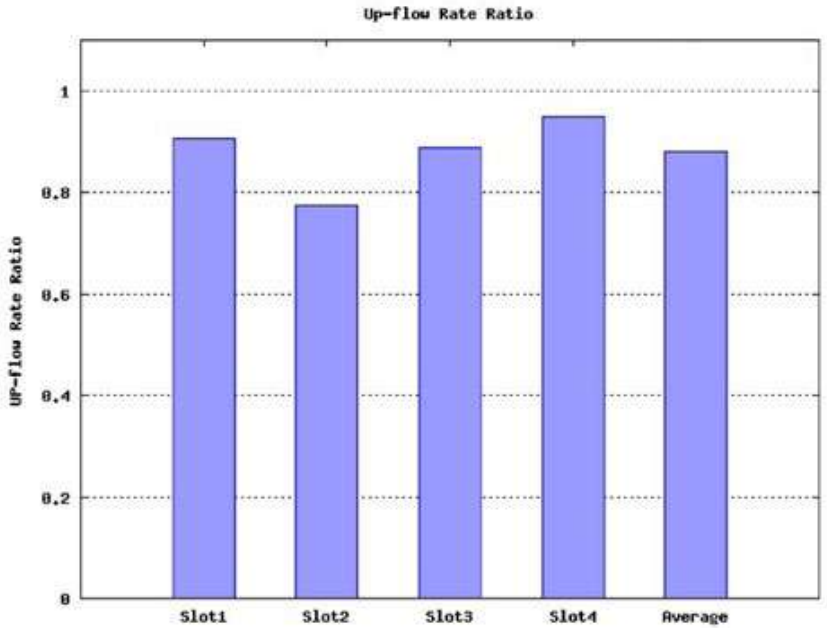
WOB 10klbs RPM 160/170/180	WOB 20klbs RPM 160/170/180	WOB 30klbs RPM 160/170/180
Lateral Vibration		
		
Axial Vibration		
		
TQ Vibration		
		
Vùng chuyển tiếp giữa 2 tập cát kết cứng và sét kết.	*Moment xoắn (torque) và rung lắc (vibration) rất mịn khi khoan qua 2 đới chuyển tiếp*	

Từ kết quả (Bảng 3) cho thấy choòng khoan cải thiện đáng kể lực dao động theo phương ngang (lateral vibration) chỉ dao động trong khoảng 30-40 klbf, trong khi lực dao động dọc trục (axial vibration) rất thấp từ 0,5-1.5 klbf và đặc biệt là dao động moment xoắn (torque vibration) khá đều và ổn định ở mức ~4.0 klbf-ft thể hiện khá rõ khi chuyển từ đới khoan cát kết cứng sang tầng sét kết. Mô hình đã chạy ở các tốc độ quay khác nhau như 160 RPM, 170RPM, 180RPM để kiểm nghiệm một cách đầy đủ hơn (R. Nygaard, 2007).

Từ Hình 3 và Hình 4 cho thấy khả năng rửa sạch giếng khoan rất tốt, phân bổ đều, choòng khoan không bị bó cứng khi các khe thoát rộng, tỷ lệ vận tốc dòng chảy lên cũng được cải thiện đáng kể, đạt mức trung bình ~0.83 tương ứng với vận tốc dòng chảy đạt từ 50-75 ft/s. Đối với những giếng khoan có cửa sổ về PP/FG nhỏ thì việc đạt được vận tốc dòng chảy lớn là điều rất tốt để nâng và rửa sạch mùn khoan, giảm đáng kể lực cản và moment xoắn (torque and drag) khi khoan cũng như doa, được thể hiện rõ nét trong tài liệu đo log trong khi khoan LWD.

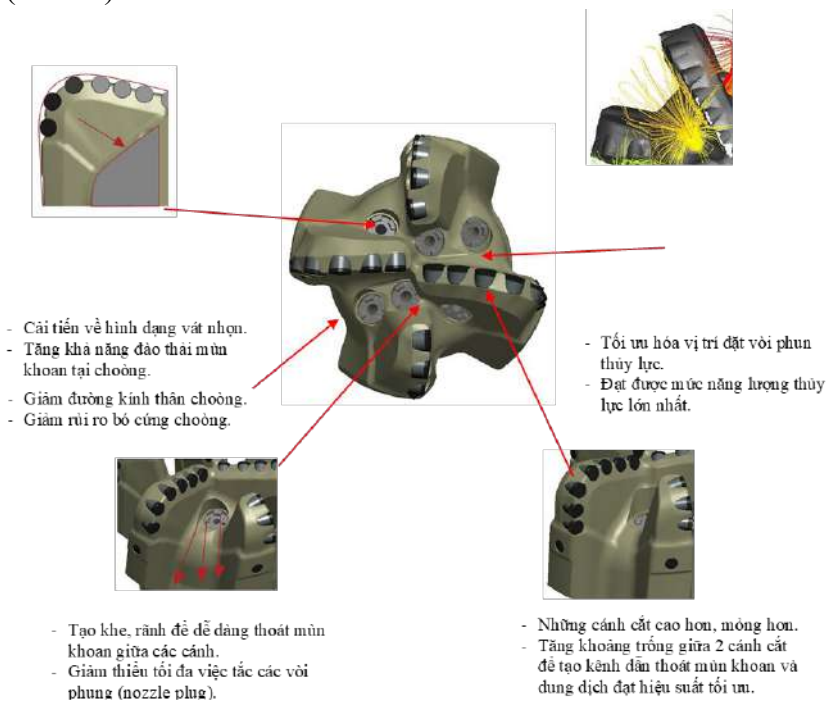


Hình 3. Khả năng rửa sạch mùn khoan (hole cleaning).



Hình 4. Tỷ lệ vận tốc dòng chảy đưa mùn khoan lên

Kết quả cho thấy sản phẩm đầu ra là choòng khoan 8-1/2" đã được tối ưu hóa các thông số và đạt được kỳ vọng (Hình 5).



Hình 5. Sản phẩm đầu ra sau tối ưu choòng khoan 8-1/2". (Internal Report, 2014)

3.2 So sánh kết quả mô phỏng với các loại choòng khoan 8-1/2" khác trước khi tối ưu

Từ Bảng 4 và Bảng 5 thống kê cho thấy vận tốc trung bình trước khi cải tiến chỉ là 4,79 m/giờ, và sau khi cải tiến vận tốc đã đạt được mức trung bình là 8,7 m/giờ, từ đó đã giảm đáng kể chi phí thi công khoan. Nguyên nhân của việc tăng được tốc độ khoan, giảm lực rung lắc cũng như cải thiện đáng kể khả năng rửa sạch mùn khoan trong giếng tránh được hiện tượng kẹt bó bộ khoan cụ và cần khoan. Đặc biệt đối với các giếng khoan có góc nghiêng nằm trong khoảng từ 30-60^o rất dễ gây hiện tượng các hạt mùn lắng đọng và đổ dọc theo thành giếng khi ngưng tuần hoàn dẫn tới nguy cơ sập bó cứng bộ khoan cụ dẫn tới kẹt cần khoan. (End of Report, 2016).

Bảng 4. *Thống kê tốc độ khoan của choòng khoan chưa áp dụng cải tiến*

Giếng khoan	Đường kính choòng	Tổng số mét khoan (m)	Thời gian khoan trung bình (giờ)	Tốc độ khoan trung bình (m/giờ)	Tỷ trọng dung dịch
1P	8-1/2”	476	52.7	9.03	17.7
2P	8-1/2”	268	86.6	3.09	17.2
3P	8-1/2”	11	3.9	2.82	17.0
		535	131.7	4.06	16.5
5P	8-1/2”	382	51.1	7,48	17.5
5PST	8-1/2”	546	136.1	4.01	17.5
Trung bình				**4.79**	

Bảng 5. *Bảng thống kê tốc độ khoan của choòng khoan mới*

Giếng khoan	Đường kính choòng, In	Tổng số mét khoan, M	Tốc độ khoan trung bình, m/giờ	Tỷ trọng dung dịch, ppg	Giới hạn tốc độ khoan, m/giờ
4P	8-1/2”	497	9.52	17.0	12
6P	8-1/2”	550	6.43	17.3	8
7P	8-1/2”	480	7.05	16.5	8
8P	8-1/2”	409	6.45	16.2	8
9P	8-1/2”	1,010	10.64	17.0	12
9PST	8-1/2”	948	9.51	16.8	8
Trung bình			**8.27**		

3.3 Đánh giá hiệu quả kinh tế mang lại

Việc thay đổi thiết kế đã được thực tế chứng minh là tăng được tốc độ khoan trung bình lên gấp đôi so với trước khi tối ưu hóa thiết kế mặc dù để giảm thiểu đáng kể các sự cố kẹt cần khoan có thể xảy ra khi khoan qua các tập chuyển giao giữa cát kết và sét kết, tốc độ khoan đã được kiểm soát trong khoảng khoan thiết kế.

Bảng 6. *Bảng tính chi phí tiết kiệm sau tối ưu. (End of Project Report, 2016)*

Tên giếng	Chi phí theo ngày ($)	Thời gian khoan thực tế với choòng cải tiến (ngày)	Thời gian khoan dự kiến nếu sử dụng choòng khoan cũ (ngày)	Tổng chi phí tiết kiệm ($)
	A	B	(C=B x 142%)	D=A x (C-B)
6P	579,353.06	3.6	5.112	875981.8267
7P	374,637.76	2.8	3.976	440574.0058
8P	581,082.25	2.6	3.692	634541.817
4P	512,843.30	2.2	3.124	473867.2092
9P	547,833.13	3.9	5.538	897350.6669
9PST	452,474.43	4.1	5.822	779160.9685
Tổng				**4,101,476.49**

Ghi chú: Hệ số 42% là hiệu suất khoan ROP thực đạt được của choòng khoan mới so với với tốc độ khoan trung bình của choòng khoan cũ.

4. Kết luận

Từ những giá trị phân tích mẫu lõi, phần mềm IDEAS đã đưa ra được một thiết kế tối ưu nhất đối với địa chất tầng Miocene hạ mỏ X bể Nam Côn Sơn, choòng khoan 8-1/2” sau đó đã được đưa vào thi công và kiểm chứng và cho ra được kết quả như sau:

- Tốc độ khoan (ROP) tăng đáng kể so với những choòng khoan đã áp dụng trước đây tại cùng khu vực và đạt được khoảng khoan dài nhất từ đầu dự án gần ~1.100m cũng như tổng số mét khoan tích lũy cho cùng một công đoạn lên tới gần ~1.430m;

- Giảm thiểu đáng kể hiện tượng rung lắc lên bộ khoan cụ.

- Lượng mùn khoan luôn được làm sạch, không có hiện tượng bó cứng choòng khoan (bit balling) và đạt được thủy lực tốt với hệ số HSI (hydraulic horsepower per square inch at the hole bottom) luôn ở mức cao do thay đổi vị trí bố trí vòi phun thủy lực.

- Tiết giảm được giá thành thi công khoan do giảm được thời gian thi công.

Lời cám ơn

Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Dầu khí - PVN đã hỗ trợ thời gian và phương tiện vật chất cho nghiên cứu này. Chân thành cảm ơn sự ủng hộ và giúp đỡ của Công ty Điều hành Dầu khí Biển Đông - PVN (BIENDONG *POC-PVN)*.

Tài liệu tham khảo

Nguyễn Giao, Nguyễn Trọng Tín, (2007), Bể trầm tích Nam Côn Sơn và tài nguyên dầu khí, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 317-360.

Phạm Bảo Ngọc, Trần Nghi, (2016), Đặc điểm địa tầng phân tập trầm tích Miocene bể Nam Côn Sơn, Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Các Khoa học Trái đất và Môi trường, Tập 32, Số 1 (2016) 36-44.

End of well report (2014), BDPOC-HT-1P, HT-2P, HT-3P, HT-5P, HT-5PST

End of well report (2016), BDPOC-HT-4P, HT-6P, HT-7P, HT-8P; HT-9P, HT-9PST

R. Nygaard (2007), How to select PDC bit for optimal drilling performance

Internal Report 084 SDI419MEUBPX (2014), Smith Bit New Design,11 Nov 2014.

Report (2013): BDPOC-HT-1P well stress data.

Graham Mensa-Wilmot (2003), Advanced Cutting Structure Improves PDC Bit Performance in Hard Rock Drilling Environments.

D.A Clark (1987), Application of the New IADC Dull Grading System for Fixed Cutter Bits.

End of Project Report (2017), BD1 Drilling Campaign_04 Apr 2017_Final.

The optimized design for polycrystalline diamond compact (PDC) bits to drill through the Lower Miocene at the field X, Nam Con Son basin

Do Quang Khanh[1*], Ta Van Cuong[2], Tran Quan Long[1]

[1]PetroVietNam University (PVU) - VietNam National Industry - Energy Group (PVN)

[2]Biendong Petroleum Operating Company - VietNam National Industry - Energy Group (PVN)

[*] Corresponding author: Email: khanhdq@pvu.edu.vn; ORCID: 0000-0003-2872-5743

Abstract

Many different types of polycrystalline diamond compact (PDC) bit were used at the drilling sections in the Lower Miocene of the X field, Nam Con Son basin aiming to improve ROP but the phenomena of very slow ROP not as well design has occured to most of wells in this area, especilly for high pressure and high temperature conditions. The paper will evaluate all the challenges in Lower Miocene where the conditions of high pressure, high temperature exist, and the direct effects of hard plastic formations to the PDC bits have also been considered. The correlations of weight on bit (WOB), rate of penetration (ROP), the drillstring vibration/shock, the real drilling times as well as the very long open-hole sections and hole clenaning issues have also been discussed in detail. Then, from the research on the core samples in the Lower Miocene at the wells of the X field, a recommendation to the manufacturer was raised to design a new bit type appropriating the properties of this formation by analyzing the simulations such as cutter size changes; junk slot area modification and optimizing jet nozzle place for the bit balling prevention.

Applying the new PDC bit, which is named PDC Sdi419, to drill the next wells in Lower Miocene has proved its performance was excellent outputs as ROP increased sharply, smoother

string vibration. Besides, these bits were also applied to drill very long open hole sections approximately 1010mMD, which were recorded successfully and evaluated very good after completing the drilling section through the Lower Miocene, the adjustment of drilling hydraulic conditions effectively improved hole cleaning.

Key word: PDC bit, Vibration Control, Rate of Penetration (ROP), Lower Miocen.

DỰ BÁO TỶ TRỌNG TUẦN HOÀN TƯƠNG ĐƯƠNG SỬ DỤNG DỮ LIỆU KHOAN

Nguyễn Hữu Trường [1,*] Nguyễn Đức Thịnh[1]

[1]Trường Đại học Dầu khí Việt Nam

[*]Tác giả liên hệ: Email: truongnh@pvu.edu.vn

Tóm tắt

Tỷ trọng tuần hoàn tương đương (ECD) là một thông số rất quan trọng trong quá trình khoan vì khi ECD quá cao, nó ảnh hưởng trực tiếp giảm tốc độ cơ học khoan, tăng mức độ kẹt chuỗi cần khoan, gây vỡ vỉa và mất tuần hoàn dung dịch, đặc biệt là trong thành hệ khoan qua có cửa sổ dung dịch khoan hẹp, tăng tổn thất áp suất trong quá trình tuần hoàn giếng khoan và giảm lực va đập của vòi phun choòng khoan, dẫn đến tăng thời gian không khoan (NPT). Việc dự báo chính xác ECD và quản lý ECD nằm trong khoảng áp suất vỉa và áp suất vỡ vỉa để tránh các vấn đề trong quá trình khoan, cũng như kiểm soát giếng là rất cần thiết. Thực tế, đo ECD rất tốn kém, và dự báo ECD từ các phương pháp toán học thường có độ chính xác thấp vì mô hình chưa được kiểm chứng trong thực tế, dẫn đến rủi ro cao trong hoạt động khoan, và xảy ra tình trạng kẹt chuỗi khoan hoặc mất tuần hoàn dung dịch. Mục tiêu chính của nghiên cứu này là sử dụng kỹ thuật học máy để dự đoán mô hình ECD khi khoan giếng trong tầng Oligocene của mỏ Bạch Hổ dựa trên các thông số khoan bề mặt các giếng khoan mà không sử dụng các phép đo ECD. Sáu thông số khoan bề mặt được thu thập tại thực địa từ các giếng khoan trong thành hệ Oligocene bao gồm tốc độ khoan (ROP), lưu lượng bơm (Q), tốc độ quay (RPM), áp suất bơm bề mặt (SPP), tải trọng lên choòng (WOB), mô men xoắn chuỗi cần khoan (T) và số liệu thực tế ECD. Mô hình ECD đã được đào tạo, thử nghiệm và xác thực để đưa ra dự báo có độ chính xác cao về ECD sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo (ANN). Kết quả cho thấy khả năng dự báo mô hình tổng thể về ECD với hệ số tương quan bình phương (R^2) lớn hơn 0,99. Dự đoán của mô hình ECD dựa trên một số thông số khoan của các giếng khoan với độ chính xác cao bằng mạng nơ-ron nhân tạo (ANN), do đó giảm thiểu rủi ro trong các hoạt động khoan của các giếng liền kề khi điều chỉnh các thông số khoan bề mặt để ECD luôn được kiểm soát thấp hơn áp suất vỡ vỉa.

Từ khóa: Tỷ trọng tuần hoàn tương đương; Các thông số khoan bề mặt; Mạng nơ-ron nhân tạo; Thành hệ Oligocene; Thời gian không khoan.

1. Giới thiệu

Tỷ trọng tuần hoàn tương đương (ECD) là một thông số quan trọng trong việc kiểm soát các hoạt động khoan, đặc biệt là trong khoảng áp suất hẹp giữa áp suất vỉa và áp suất phá vỡ vỉa. ECD biểu thị tổng áp suất do cột dung dịch khoan tạo ra, bao gồm áp suất thủy tĩnh và tổn thất áp suất trong vành xuyến khi tuần hoàn. Do đó, ECD phản ánh áp suất thực tế mà dung dịch khoan tác động lên thành giếng trong quá trình tuần hoàn, giúp ngăn ngừa hiện tượng xâm nhập vỉa (Haciislamoglu, 1994). Việc ước tính chính xác ECD là rất quan trọng để tránh các sự cố kiểm soát giếng như mất ổn định thành giếng, kẹt cần khoan. Trong quá trình khoan, việc theo dõi và kiểm soát ECD một cách cẩn thận là yếu tố quan trọng để giảm thời gian không khoan (NPT) và tăng tốc độ khoan (ROP) là rất cần thiết. Nếu không kiểm soát ECD có thể dẫn đến nhiều vấn đề nghiêm trọng như kẹt cần, mất dung dịch khoan và vỡ vỉa. Để kiểm soát hiệu quả ECD, cần hiểu rõ các yếu tố ảnh hưởng và từ đó điều chỉnh các thông số khoan phù hợp. Các yếu tố chính ảnh hưởng trực tiếp đến ECD bao gồm khối lượng riêng của dung dịch khoan, tính chất lưu biến của dung dịch (như độ nhớt, tỷ trọng dung dịch khoan sử dụng, và độ bền Gel), lưu lượng bơm, cấu trúc của giếng khoan và độ sâu đo của giếng khoan. Việc nắm rõ và kiểm soát các yếu tố này sẽ giúp giảm thiểu ECD và hạn chế rủi ro trong vận hành khoan, đặc biệt là trong các tầng chứa có khoảng áp suất hẹp. Duy trì ECD ở mức thấp dọc theo thân giếng đang khoan sẽ giúp giảm nguy cơ mất ổn định giếng, cho phép khoan sâu hơn và hạn chế nguy cơ vỡ vỉa do áp suất thủy tĩnh quá cao (Alkinani et al., 2019). Nhiều nghiên cứu xem

xét ảnh hưởng của lưu lượng bơm đến ECD, tuy nhiên các kết quả đưa ra vẫn còn nhiều khác biệt. Ví dụ, Al-Hameedi et al. (2017a; 2017b; 2017c; 2018) đã xây dựng các mô hình thống kê dự đoán ECD tại các tầng Dammam, Hartha và Shuaiba ở Iraq dựa trên khối lượng riêng của dung dịch khoan (MW), tốc độ khoan (ROP), và lưu lượng bơm (Q). Kết quả chỉ ra rằng lưu lượng bơm có ảnh hưởng tiêu cực ở mức thấp tới ECD, phù hợp với mô hình trước đó của Baker Hughes (1999), đồng thời nhấn mạnh rằng lưu lượng bơm cao giúp cải thiện hiệu quả làm sạch giếng. Ngược lại, Vajargah nnk. (2016) và McCann nnk. (1995) cho thấy mối quan hệ trực tiếp giữa lưu lượng bơm và ECD: khi lưu lượng bơm dung dịch tăng, tổn thất áp suất trong khoảng không vành xuyến tăng, dẫn đến ECD tăng. Hutchinson nnk. (1998) nhận thấy rằng ở tốc độ bơm dung dịch khoan thấp, tổn thất áp suất và ECD đều giảm; ngược lại, khi lưu lượng bơm tăng, áp suất mất mát tăng và ECD cũng tăng theo. Một số nhà nghiên cứu khác Bansal et al. (2007) và Bern nnk. (2003) cho rằng có tồn tại một ngưỡng lưu lượng bơm mà tại đó mối quan hệ giữa lưu lượng bơm dung dịch và ECD chuyển từ tiêu cực sang tích cực. Nhiều mô hình phân tích và thực nghiệm phát triển để dự đoán ECD dựa trên các đặc tính của dung dịch khoan và thông số vận hành. Các nghiên cứu ban đầu sử dụng phương pháp cân bằng vật chất và phân loại loại dung dịch khác nhau (Hoberock nnk., 1982; Peters nnk., 1990). Tuy nhiên, các mô hình này thường dựa trên các giả định đơn giản hóa và chưa xét đến đầy đủ điều kiện thực tế như áp suất, nhiệt độ và chuyển động xoay của cần khoan. Ví dụ, Bybee (2009) đã phát triển một mô hình có tính đến nồng độ chất rắn trong dung dịch khoan, khối lượng riêng dung dịch tĩnh và tính chất lưu biến của dung dịch, nhưng vẫn chưa bao gồm các yếu tố quan trọng khác. Nhiều mô hình trước đây đã bỏ qua các yếu tố ảnh hưởng lớn như cấu trúc hình dạng của giếng khoan, tốc độ quay của cần khoan, và chỉ số ứng xử của dung dịch trong điều kiện áp suất và nhiệt độ thay đổi, dẫn đến ước tính ECD thiếu chính xác và tăng nguy cơ sự cố trong khoan (Hemphill nnk., 2008; Ahmed nnk., 2010; Costa nnk., 2008). Để khắc phục các hạn chế này, nghiên cứu hiện tại áp dụng mạng nơ-ron nhân tạo (ANN) và các phương pháp hồi quy trên dữ liệu thực tế từ hiện trường. Mục tiêu là phát triển mô hình dự đoán ECD chính xác hơn bằng cách tích hợp các thông số khoan quan trọng, đồng thời so sánh hiệu quả của các mô hình dựa trên hệ số tương quan bình phương R^2. Thông qua việc xác định và định lượng các yếu tố ảnh hưởng chính, nghiên cứu này cung cấp một hướng tiếp cận thực tế để quản lý ECD hiệu quả trong thi công giếng khoan.

2. Dự báo tỷ trọng tuần hoàn tương đương ECD bằng hồi quy bội

Phân tích hồi quy là một phương pháp dùng để khảo sát mối quan hệ giữa một biến phụ thuộc và hai hoặc nhiều biến độc lập. Kỹ thuật phân tích dữ liệu này rất hữu ích khi so sánh một biến định lượng với các biến khác. Phân tích đa biến mô tả một yếu tố quan sát bằng cách có nhiều biến và xem xét tất cả các thay đổi về thuộc tính có thể xảy ra đồng thời. Mô hình này giả định rằng mối quan hệ giữa biến phụ thuộc Y_i và vectơ các biến hồi quy x_{ki} là tuyến tính. Phương trình hồi quy tuyến tính bội sau đây (Pedhazur, 1982) được sử dụng:

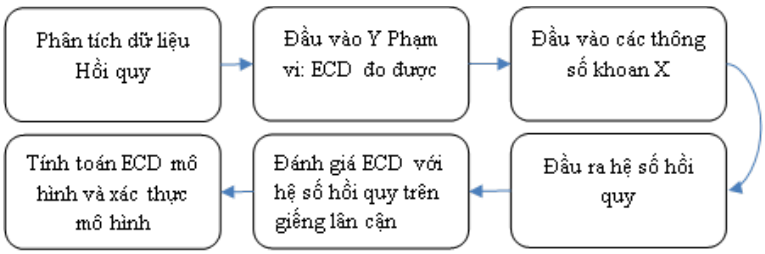
$$Y = \beta_1 + \beta_2 x_{2i} + \beta_3 x_{3i} + \beta_4 x_{4i} + \cdots + \beta_k x_{ki} \quad (1)$$

Trong đó β_1 là hệ số chặn (intercept), β_i là các hệ số góc (slopes hoặc coefficients), và (i) là số thứ tự của quan sát. Mô hình hồi quy tuyến tính đơn được sử dụng để tìm đường thẳng phù hợp nhất với dữ liệu, trong khi hồi quy tuyến tính bội được dùng để tìm mặt phẳng tốt nhất khớp với dữ liệu. ECD liên quan đến sự ràng buộc của nhiều biến khác nhau. Dựa vào phương trình (1), ECD được xem như là yếu tố quan sát Y trong nghiên cứu này. Giá trị Y phụ thuộc vào nhiều đặc tính cùng lúc, bên cạnh các yếu tố vận hành khoan. Các thông số khoan có liên quan tạo nên các biến hồi quy như x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6. Thông qua việc xử lý phân tích hồi quy, công việc sẽ đưa ra các giá trị của hệ số như b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, và b_6. Khi có các giá trị hệ số này, ta có thể ước tính giá trị Y. Phân tích này được thực hiện dựa trên một số giếng khoan gần kề tại thành tạo Oligocene thuộc mỏ Bạch Hổ ngoài khơi Việt Nam, tại đoạn giếng có đường kính 8,5 inch. Một giếng lân cận cùng khu vực nghiên cứu sẽ được kiểm tra để xác thực mô hình ECD. Dữ liệu phục vụ phân tích hồi quy bội bao gồm lưu lượng bơm dung dịch khoan (Q), tốc độ khoan (ROP), tốc độ quay

(RPM), áp suất bơm bề mặt (SPP), tải trọng lên choòng (WOB) và mô men xoắn (T), cùng với yếu tố quan sát là ECD. Phân tích hồi quy được thực hiện đầu tiên. Như đã mô tả ở trên, miền giá trị Y là ECD, trong khi miền giá trị (x) là các dữ liệu còn lại. Chiều sâu đo giếng khoan chỉ được dùng làm tài liệu tham khảo, không đưa vào phân tích. Các hệ số là phần quan trọng và xác định được từ phân tích hồi quy. Giá trị chặn (intercept) được biểu diễn bằng hệ số (β_0). Các hệ số còn lại như β_1, β_2, β_3, β_4, β_5, β_6, sẽ được nhân lần lượt với các biến hồi quy tương ứng như x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6 và các biến tương tác. Phương trình (2) được sử dụng để dự đoán mô hình ECD, như sau:

$$\text{ECD, ppg} = \beta_0 + \beta_1 Q + \beta_2 ROP + \beta_3 RPM + \beta_4 SPP + \beta_5 WOB + \beta_6 T \quad (2)$$

Quy trình thực hiện hồi quy bội được trình bày trong Hình 1 và được áp dụng cho cả giai đoạn thứ nhất và thứ hai. Trong giai đoạn thứ nhất, phương pháp hồi quy bội được áp dụng cho thành tạo Oligocen của các giếng tham chiếu như W_1, W_2, W_3, W_4 để đưa ra bảy hệ số β_0, β_1, β_2, β_3, β_4, β_5, β_6. Bằng cách sử dụng phương trình (2), các hệ số này được áp dụng vào các giếng như W_1, W_2, W_3 để dự đoán mô hình ECD, và W_4 là giếng lân cận thuộc khu vực nghiên cứu được dùng để kiểm nghiệm mô hình này.



Hình 1. Quy trình hồi quy bội dự đoán ECD.

Bằng cách sử dụng dữ liệu khoan từ bốn giếng trong khu vực với đường kính giếng khoan 8-1/2" thuộc thành hệ Oligocene, cho mỗi mét khoan, các thông số được ghi nhận gồm: tỷ trọng tuần hoàn tương đương (ECD), lưu lượng bơm dung dịch (Q), tốc độ khoan (ROP), tải trọng tác dụng lên choòng khoan (WOB), tốc độ quay của cần khoan (RPM), áp suất bơm bề mặt (SPP), và mô-men xoắn của cần khoan (T). Mối tương quan giữa ECD được dự đoán với các biến độc lập được thể hiện trong mô hình như sau:

$$\text{ECD, ppg} = 15 - 0.00332Q - 0.00444ROP + 0.000450RPM + 0.000461SPP - 0.0225WOB - 0.116T \quad (3)$$

Bảng 1. *Bảng ANOVA*

ECD, ppg	DF	SS	MS	F	P
Tổng	1769	1068/72			
Hồi quy	6	985.67	164.28	3487	0.000
Phần dư	1763	83.05	0.05		
S = 0.217043; R^2= 92.2% R-$_{Sq(adj)}$ = 92.2%					

Bảng 2. *Hệ số hồi quy của mô hình ECD dự đoán*

STT	ECD, ppg	Coeff. SC	Std. Err.	T	P
1	Hằng số	15.0138	0.1330	112.89	0.000
2	Q, gpm	0.00332119	0.00007636	-43.50	0.000
3	ROP, m/h	0.0044402	0.0007611	-5.83	0.000
4	RPM	0.0004502	0.0008760	0.51	0.607
5	SPP, atm	0.00046142	0.00002437	18.94	0.000
6	WOB, klb	-0.022514	0.001661	-13.56	0.000
7	T, kft.lb	-0.115844	0.002141	-54.11	0.000

3. Dự đoán ECD bằng mạng nơ-ron nhân tạo (ANNs)

Mạng nơ-ron nhân tạo (ANNs) được xây dựng dựa trên các nơ-ron tồn tại trong não người. Cấu trúc quy trình của ANN, giống như một hệ thần kinh, có một mạng lưới kết nối với nhiều nơ-ron xử lý. Mỗi nơ-ron bao gồm n đầu vào để tạo ra m đầu ra thông qua một hàm gọi là hàm kích hoạt:

$$m = f(\sum(w_i x_i) + b) \text{ với i từ 1 đến n}$$

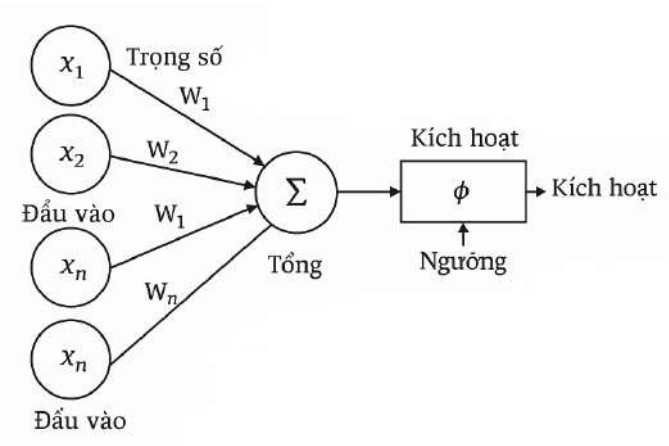
Trong đó:

- $\text{Tansig}(x) = \frac{1}{(1 + e^{-2x}) - 1}$
- $\text{Logsig}(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$
- $\text{Purelin}(x) = x$

Với:

- x_i là đầu vào thứ i,
- w_i là trọng số tương ứng với biến đầu vào thứ i,
- b là độ lệch (bias),
- f là hàm kích hoạt.

Mỗi đầu vào được gán với một trọng số, và đầu ra được tính bằng tổng có trọng số của các tham số đầu vào. Các hàm kích hoạt thường được sử dụng là hàm sigmoid (tag-sigmoid), sigmoid-log (log-sigmoid), và tuyến tính thuần túy (pure linear),... Nhiều nơ-ron kết hợp để tạo thành các lớp, và các lớp này kết hợp lại thành một mạng. Các lớp được chia thành ba loại: lớp đầu vào, lớp ẩn, và lớp đầu ra. Số lượng nơ-ron và lớp phụ thuộc vào độ phức tạp của vấn đề đang được nghiên cứu. Trong quá trình huấn luyện mạng, thuật toán lan truyền ngược (back-propagation) là phù hợp nhất (Tewari và Dwivedi, 2017). Dữ liệu được xử lý lần lượt qua lớp đầu vào, sau đó là lớp ẩn, và cuối cùng là lớp đầu ra.



Hình 2. Sơ đồ của một tế bào thần kinh (Tewari và Dwivedi, 2017).

Sai số

Ngoài hệ số tương quan bình phương (R^2), sai số căn bậc hai bình phương trung bình (RMSE) là chỉ số thống kê được sử dụng để đánh giá độ chính xác của mô hình được dự báo:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}$$

Trong đó:

y_i: giá trị ECD thực tế tại quan sát thứ i,

$\hat{y}_i$: giá trị ECD dự đoán bởi mô hình,

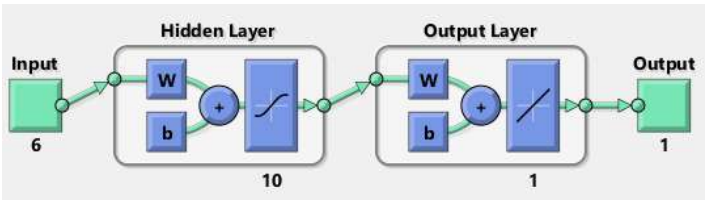
n: số lượng quan sát.

4. Mô tả dữ liệu

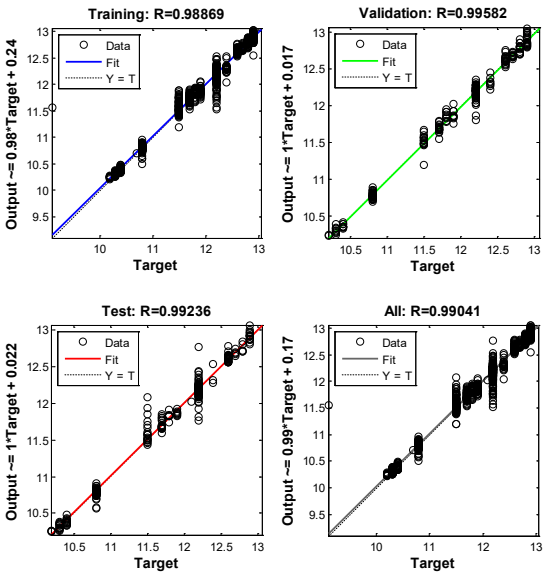
Mô hình mạng nơ-ron nhân tạo được xây dựng và phát triển dựa trên tập dữ liệu khoan thực tế cho khoan đường kính giếng 8-1/2" trong thành hệ Oligocen tại mỏ Bạch Hổ ngoài khơi Việt Nam, bao gồm bốn giếng khoan như W_1, W_2, W_3, W_4. Tất cả các giếng mẫu đều được khoan nhằm mục đích khoan khai thác qua thành hệ Oligocene. Tập dữ liệu huấn luyện mạng bao gồm 1.239 điểm dữ liệu từ các giếng, 266 điểm dữ liệu cho giai đoạn kiểm tra, và 266 điểm dữ liệu cho giai đoạn kiểm định. Các dữ liệu này được phân chia ngẫu nhiên cho các giai đoạn huấn luyện, kiểm định và kiểm tra. Tập dữ liệu được chia tỷ lệ: 70% cho huấn luyện, 15% cho kiểm định, và 15% còn lại cho kiểm tra. Có sáu thông số khoan được sử dụng, bao gồm: lưu lượng bơm dung dịch khoan (Q), tốc độ khoan (ROP), tải trọng lên choòng (WOB), tốc độ vòng quay mỗi phút (RPM), áp suất bơm trên bề mặt (SPP), và mô-men xoắn của cần khoan (T), ảnh hưởng đến giá trị ECD (Equivalent Circulating Density).

Bảng 1. *Các giới hạn của thông số vận hành cho đoạn giếng khoan 8-1/2" trong thành hệ Oligocen.*

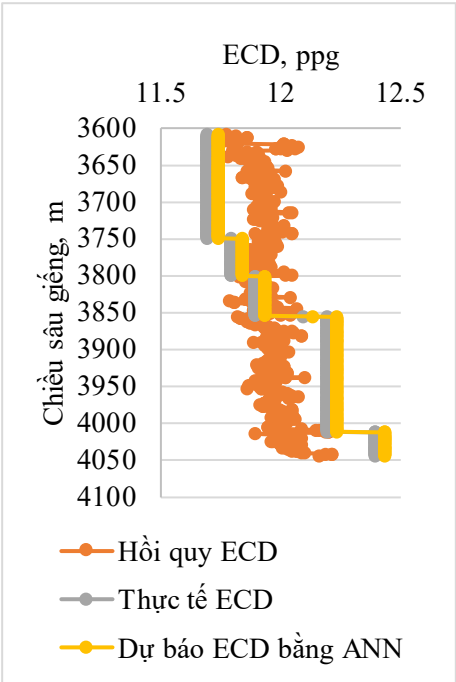
Giếng	Chiều sâu, m, vào	Chiều sâu, m, ra	WOB, tons	RPM	Q, l/sec	SPP, atm	MW, sg
W_1	3608	4043	1-3	110-130	35-36	164-194	1.35-1.43
W_2	3856	4219	5-8	100-130	29-33	203-220	1.42-1.48
W_3	3538	3986	5-8	110-130	30-34	201-220	1.46-1.49
W_4	3639	3712	3-4	119	34	183	1.46-1.47



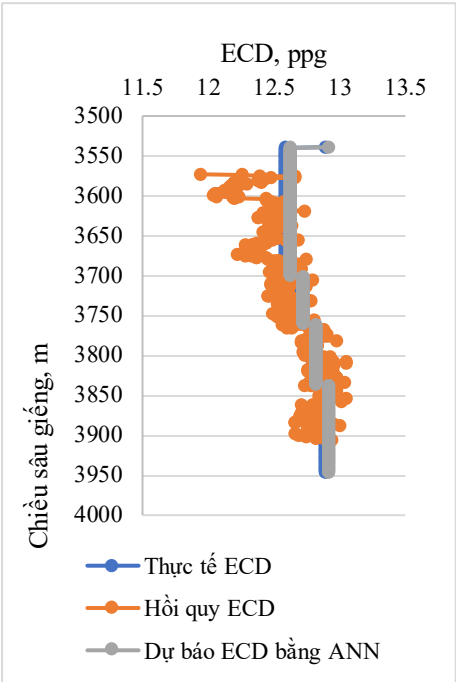
Hình 3. Mô hình mạng nơ-ron nhân tạo lớp ẩn gồm mười nơ-ron.



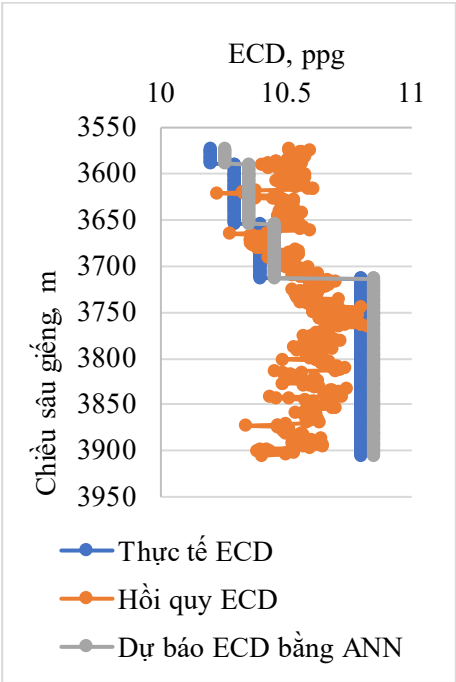
Hình 4. Sự hồi quy của mạng lưới nơ-ron.



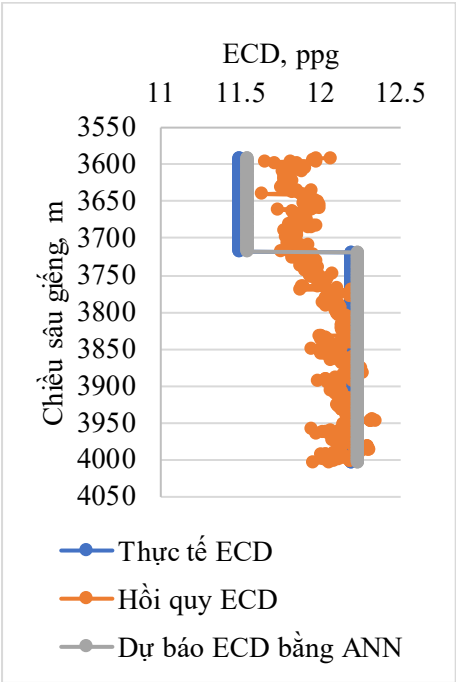
Hình 5. So sánh giữa các mô hình ECD dự đoán và ECD thực tế theo W1.



Hình 6. So sánh giữa các mô hình ECD dự đoán và ECD thực tế theo W3.



Hình 7. So sánh giữa các mô hình ECD dự đoán và ECD thực tế theo W3



Hình 8. So sánh giữa các mô hình ECD dự đoán và ECD thực tế theo giếng lân cận.

Hệ số tương quan bình phương của mô hình hồi quy ECD đạt R^2 = 92,2%, điều này chứng tỏ rằng các thông số khoan trong mô hình ECD dự đoán đã được giải thích trên 92%, và còn gần 8% thông số khoan chưa được giải thích, và hệ số căn bậc hai bình phương trung bình (RMSE) bằng 0.22. Do đó, mô hình dự đoán ECD bằng phương pháp hồi quy không mang lại ý nghĩa đáng kể. Mô hình ANN có hệ số tương quan bình phương cao nhất, gần 99,041%, và tất cả các thông số trong mô hình ECD đều được giải thích, và hệ số RMSE đạt 0.05. Dựa trên các đồ thị từ Hình 6 đến Hình 9, có thể thấy rằng mô hình ANN dự đoán giá trị ECD gần nhất với giá trị ECD thực tế tại hiện trường so với mô hình dự đoán ECD bằng hồi quy. Điều này là do hệ số tương quan bình

phương (R^2) đạt 0,99041 từ mô hình ANN cao hơn so với hệ số tương quan của mô hình hồi quy trong việc dự đoán ECD.

5. Kết luận

Dự báo mô hình ECD (tỷ trọng tuần hoàn tương đương) mới đã được phát triển thành công nhằm dự đoán ECD trong quá trình khoan các giếng thuộc đối tượng Oligocene của mỏ Bạch Hổ, dựa trên mô hình mạng nơ-ron nhân tạo (ANN) có hệ số tương quan cao nhất. Các điểm chính được quan sát trong nghiên cứu này như sau:

- Mô hình dự đoán ECD bằng phương pháp ANN đạt hệ số tương quan bình phương (R^2) cao nhất so với phương pháp hồi quy.

- Mô hình ECD được phát triển dựa trên các thông số vận hành khoan đo được ở bề mặt như: lưu lượng bơm dung dịch (Q), tốc độ khoan (ROP), trọng lượng tác dụng lên mũi khoan (WOB), tốc độ quay (RPM), áp suất đường ống đứng (SPP), và mô-men xoắn của cần khoan (T); điều này cho phép việc liên hệ ECD theo thời gian thực là khả thi.

- Dự báo ECD bằng ANN cho tập mẫu dữ liệu huấn luyện gồm 1.733 điểm dữ liệu thu thập từ bốn giếng khoan qua tầng Oligocene với đường kính giếng 8-1/2", đạt R^2 là 0,99041.

- Mô hình dự báo ECD bằng ANN tiếp tục được kiểm tra trên tập dữ liệu thử nghiệm gồm 372 điểm dữ liệu và đạt R^2 là 0,99236.

- So sánh với ECD thực tế của các giếng lân cận trong tầng Oligocen (giếng 8-1/2"), dự báo ECD bằng ANN cho kết quả gần sát với ECD thực tế nhất. Do đó, phương pháp ANN cho độ chính xác cao hơn so với phương pháp hồi quy.

Lời cảm ơn

Các tác giả cảm ơn Trường Đại học Dầu khí Việt Nam và Phòng đối ngoại và Khoa học Công nghệ đã tài trợ cho nghiên cứu này.

Danh pháp

Ký hiệu	*Giải nghĩa*
ECD	Tỷ trọng tuần hoàn tương đương (Equivalent Circulating Density)
ANN	Mạng nơ-ron nhân tạo (Artificial Neural Network)
R	Hệ số tương quan (Correlation Coefficient)
WOB	Tải trọng lên choòng (Weight on Bit)
RPM	Tốc độ quay (vòng/phút) - (Rotational Speed in Revolutions per Minute)
ROP	Tốc độ khoan (Rate of Penetration)
GPM	Gallon trên phút (Gallons per Minute)
SPP	Áp suất đường ống trên bề mặt (Standpipe Pressure)
T	Mô-men xoắn của cần khoan (Moment Torque of Drill String)

Tài liệu tham khảo

Haciislamoglu, M. 1994. Practical Pressure Loss Predictions in Realistic Annular Geometries. Paper presented at the Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Louisiana, 25-28 September. *SPE-28304-MS*. https://doi.org/10.2118/28304-MS.

Alkinani, H.H., Al-Hameedi, A.T.T., Dunn-Norman, S., Flori, R.E., Alsaba, M.T., Amer, A.S., and Hilgedick, S.A. 2019."Using Data Mining to Stop or Mitigate Lost Circulation." *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 173(February 2019), 1097-1108. https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.10.078.

Al-Hameedi AT, Alkinani HH, Dunn-Norman S, Flori RE, Hilgedick SA, Amer AS (2017a) Limiting Key DrillingParameters to Avoid or Mitigate Mud Losses in the Hartha Formation, Rumaila Field, Iraq. *J Pet Environ Biotechnol* 8: 345. doi: 10.4172/2157-7463.1000345.

Al-Hameedi, A. T. T., Alkinani, H. H., Dunn-Norman, S., Flori, R. E., Hilgedick, S. A., Alkhamis, M. M., Alsaba, M. T.(2018, August 16). Predictive Data Mining Techniques for Mud Losses Mitigation. *Society of Petroleum Engineers*. doi: 10.2118/192182-MS

Al-Hameedi, A. T., Dunn-Norman, S., Alkinani, H. H., Flori, R. E., & Hilgedick, S. A. (2017b, August 28). Limiting Drilling Parameters to Control Mud Losses in the Dammam Formation, South Rumaila Field, Iraq. *American RockMechanics Association*.

Al-Hameedi, A.T., Dunn-Norman, S., Alkinani, H.H., Flori, R.E., and Hilgedick, S.A. (2017c). Limiting DrillingParameters to Control Mud Losses in the Shuaiba Formation, South Rumaila Field, Iraq. Paper AADE-17-NTCE-45accepted, and it was presented at the 2017 *AADE National Technical Conference and Exhibition* held at the HiltonHouston.

Baker Hughes Company. 1999. Prevention and Control of Lost Circulation Best Practices.

Vajargah, A. K., Sullivan, G., & Oort, E. van. (2016, September 14). Automated Fluid Rheology and ECD Management.*Society of Petroleum Engineers*. doi: 10.2118/180331-MS.

Hutchinson, M., & Rezmer-Cooper, I. (1998, January 1). Using Downhole Annular Pressure Measurements to AnticipateDrilling Problems. *Society of Petroleum Engineers*. doi: 10.2118/49114-MS.

Bansal, R. K., Brunnert, D. J., Todd, R. J., Bern, P. A., Baker, R. V., & Richard, C. (2007, January 1). DemonstratingManaged-Pressure Drilling with the ECD Reduction Tool. *Society of Petroleum Engineers*. doi: 10.2118/105599-MS

Bern, P. A., Hosie, D., Bansal, R. K., Stewart, D., & Lee, B. (2003, January 1). A New Downhole Tool for ECD Reduction.*Society of Petroleum Engineers*. doi: 10.2118/79821-MS.

Hoberock, L.L., Thomas, D.C. and Nickens, H.V., 1982. Here's how compressibility and temperature affect bottom-hole mud pressure. *Oil Gas J.*;(United States), 80(12) 159-164.

Peters, E.J., Chenevert, M.E. and Zhang, C., 1990. A model for predicting the density of oil-base muds at high pressures and temperatures. *SPE drilling engineering*, 5(02), pp.141-148.

Bybee, K., 2009. Equivalent-circulating-density fluctuation in extended-reach drilling. *J Petrol Technol* 61:64-67. https://doi.org/10.2118/0209-0064-JPT.

Hemphill, T., Ravi, K., Bern, P.A. and Rojas, J., 2008. A simplified method for prediction of ECD increase with drillpipe rotation. Paper presented at the *Annual Technical Conference and Exhibition*, Denver, Colorado, USA, 21-24 September. SPE-115378-MS. https://doi.org/10.2118/115378-MS.

Costa, S.S., Stuckenbruck, S., Fontoura, S.A. and Martins, A.L., 2008, January. Simulation of transient cuttings transportation and ECD in well bore drilling. Paper presented at *Europec/EAGE Conference and Exhibition*, Rome, Italy, 9-12 June 2008. SPE-113893-MS. https://doi.org/10.2118/113893-MS.

Pedhazur EJ (1982) Multiple regression in behavioral research. Holt rinehart and wiston, New York

Tewari, S, and Dwivedi, U. D., 2017, A novel neural network framework for the prediction of drilling rate of penetration, Int. Conf. on Ad. In *Pet. Chem. & Ener. Challenges* (APCEC17).

Prediction of Equivalent Circulating Density Using Operational Drilling Data

Nguyen Huu Truong[1,], Nguyen Duc Thinh[1]*
[1]Petrovietnam University, Ba Ria-Vung Tau, Viet Nam
[*]Corresponding author: Email: truongnh@pvu.edu.vn

Abstract

Equivalent Circulating Density (ECD) is a critical parameter in drilling operations. Excessive ECD can negatively impact drilling efficiency by reducing the rate of penetration (ROP), increasing the likelihood of drill string sticking and lost circulation, particularly in formations with narrow mud weight windows. It also contributes to higher pressure losses within the wellbore and diminishes the bit's impact force, leading to prolonged non-productive time (NPT). Accurate ECD measurement is essential to mitigate these risks; however, conventional measurement methods are costly, and existing mathematical models often lack sufficient accuracy, resulting in operational uncertainties. This study aims to develop a predictive model for ECD using machine learning techniques, specifically Artificial Neural Networks (ANN), based on surface drilling parameters, thereby eliminating the need for downhole measurements. The research focuses on drilling operations in the Oligocene Formation of the White Tiger Field. Six key surface parameters were utilized: rate of penetration (ROP), pump flow rate (Q), rotary speed (RPM), surface pump pressure (SPP), weight on bit (WOB), and drill string torque (T). Field data were collected and used to train, validate, and test the ANN model. The proposed ANN-based model demonstrated a high level of accuracy, achieving a correlation coefficient (R) greater than 0.99. The model effectively predicts ECD using surface drilling data, providing a reliable tool for real-time ECD monitoring. By adjusting surface parameters to maintain ECD below the fracture pressure, this approach can significantly reduce drilling risks and improve overall operational safety and efficiency.

Keywords: Equivalent Circulating Density (ECD); Surface Drilling Parameters; Artificial Neural Networks (ANN); Oligocene Formation; Non-Productive Time (NPT).

NGHIÊN CỨU, ĐÁNH GIÁ TIỀM NĂNG ĐỊA NHIỆT VÙNG ĐỒNG BẰNG SÔNG HỒNG

Đỗ Đình Khuyến[1], Nguyễn Văn Thịnh[2,*]
[1]Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam
[2]Trường Đại học Mỏ - Địa chất (HUMG)
**Tác giả liên hệ: Email: nguyenvanthinh@humg.edu.vn*

Tóm tắt

Địa nhiệt là dạng năng lượng sạch và bền vững. So với các dạng năng lượng tái tạo khác như gió, thủy điện hay điện mặt trời, địa nhiệt không phụ thuộc vào các yếu tố thời tiết và khí hậu. Địa nhiệt có thể được sử dụng để cung cấp điện, sản xuất hay lưu trữ nhiệt. Vì nguồn năng lượng liên tục, các nhà máy địa nhiệt có thể hoạt động ở công suất tối đa trong suốt cả ngày và cả năm. Tiềm năng kỹ thuật đầy đủ của các hệ thống địa nhiệt được dùng để sản xuất điện năng chỉ đứng sau điện mặt trời trong số các nguồn năng lượng tái tạo. Việc khai thác năng lượng địa nhiệt đòi hỏi phải hiểu biết toàn diện về cấu trúc địa chất để đảm bảo phát triển bền vững. Ở Việt Nam, khu vực vùng Đồng bằng Sông Hồng nói chung và khu vực Hưng Hà - Quỳnh Phụ nói riêng là nơi có tiềm năng địa nhiệt tương đối lớn. Bài báo trình bày những nghiên cứu, đánh giá về tiềm năng địa nhiệt khu vực vùng Đồng bằng Sông Hồng trên cơ sở phân tích các tài liệu về cấu tạo địa chất. Kết quả nghiên cứu cho thấy vùng đồng bằng Sông Hồng, trong đó có khu vực Hưng Hà-Quỳnh Phụ (HH-QP) là khu vực có tiềm năng lớn về địa nhiệt. Hệ thống hệ thống địa nhiệt ở đây có cấu trúc bồn kép (thứ sinh và nguyên sinh). Tại khu vực này, bồn địa nhiệt nằm trong tầng chứa nước Pleistocen, có khả năng khai thác ở quy mô lớn, phục vụ cho phát triển kinh tế khu vực. Nhiệt độ của bồn nhiệt thứ sinh nằm trong khoảng 50 °C. Trong khi đó, bồn nguyên sinh nhiệt độ ước tính khoảng 148,6 °C. Kết quả nghiên cứu đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao sự hiểu biết về điều kiện hình thành và khu vực tập trung nguồn địa nhiệt ở vùng Đồng bằng Sông Hồng.

Từ khóa: Năng lượng tái tạo; Địa nhiệt; Đồng bằng Sông Hồng.

1. Đặt vấn đề

Năng lượng địa nhiệt là nguồn năng lượng khai thác từ nhiệt trong lòng Trái đất, được hình thành chủ yếu từ quá trình kiến tạo ban đầu của hành tinh, sự phân rã phóng xạ của các khoáng vật và một phần nhỏ từ năng lượng mặt trời hấp thụ tại bề mặt. Nguồn địa nhiệt liên quan mật thiết đến cấu trúc nhiệt độ của trái đất và chu trình đối lưu nhiệt trong lòng trái đất (Williams, 2008). Nhiệt độ Trái đất tăng dần theo độ sâu và có thể đạt tới khoảng 7000°C tại tâm. Với đặc tính liên tục và dồi dào, địa nhiệt được xem là một nguồn năng lượng tái tạo gần như vô tận (Williams, 2014). Nhiệt lượng từ trong lòng đất di chuyển ra bề mặt chủ yếu thông qua quá trình đối lưu của các dòng magma; đôi khi magma phun trào tại miệng núi lửa, nhưng phần lớn được giữ lại trong vỏ, nung nóng đất đá và các tầng nước ngầm (Barcelona et al., 2023b). Khi khối nước nóng và hơi nước di chuyển lên qua các đứt gãy hoặc khe nứt, chúng tạo nên các biểu hiện địa nhiệt tự nhiên như suối nước nóng, mạch phun hay bùn nóng. Trong trường hợp bị "bẫy" bởi các lớp đất đá không thấm phủ trên tầng thấm nước, mỏ địa nhiệt được hình thành. Nguồn năng lượng này có thể được khai thác trực tiếp cho các mục đích sưởi ấm, điều hòa, sấy khô nông sản, cấp nhiệt cho công nghiệp, hoặc gián tiếp để phát điện trong các nhà máy địa nhiệt. So với các dạng năng lượng tái tạo khác như gió, thủy điện hay điện mặt trời, địa nhiệt có ưu thế nổi bật là không phụ thuộc vào thời tiết và khí hậu. Nhờ đó, hệ số công suất của các nhà máy điện địa nhiệt thường cao và ổn định, bảo đảm khả năng cung ứng liên tục. Đây là yếu tố đặc biệt quan trọng đối với các quốc gia đang phát triển, nơi nguồn tài nguyên hóa thạch như than, dầu và khí tự nhiên hạn chế.

Việc khai thác năng lượng địa nhiệt đã được con người biết đến từ hàng nghìn năm trước, khi các nền văn minh cổ đại sử dụng suối nước nóng và hồ địa nhiệt cho sinh hoạt và trị liệu. Bước

ngoặt công nghiệp bắt đầu tại Tuscany (Ý) vào năm 1818, khi kỹ sư François Jacques de Larderel thành công trong việc chiết xuất axit boric từ nước muối địa nhiệt. Năm 1904, Piero Ginori Conti lần đầu tiên sử dụng hơi nước địa nhiệt để phát điện. Kể từ đó, công nghệ địa nhiệt đã phát triển mạnh mẽ tại nhiều quốc gia có tiềm năng thủy nhiệt phong phú như Ý, Mỹ, New Zealand, Iceland, Indonesia và Philippines. Những tiến bộ này không chỉ khẳng định vai trò quan trọng của địa nhiệt trong cơ cấu năng lượng toàn cầu mà còn mở ra triển vọng nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi hơn trong bối cảnh chuyển dịch năng lượng hiện nay.

Ngày nay, địa nhiệt được xem là nguồn năng lượng đa năng, an toàn và có thể vận hành ổn định 24/7. Năng lượng địa nhiệt đóng vai trò ngày càng quan trọng trong các cấu trúc năng lượng toàn cầu (Chen et al., 2024). Công nghệ khoan hiện đại cho phép khai thác ở độ sâu hơn 3.000 m, mở ra tiềm năng lớn cho cả phát điện và sử dụng nhiệt trực tiếp. Các nghiên cứu ước tính rằng, việc khai thác địa nhiệt ở độ sâu dưới 8 km có thể cung cấp tới 600 TW công suất với tuổi thọ mỏ khoảng 25 năm, trong khi các tầng trầm tích chứa nước ngầm ở độ sâu khoảng 3000 m và nhiệt độ trên 90 ^{o}C được ước tính mang lại khoảng 320 TW nhiệt năng toàn cầu. Với tính ổn định cao và khả năng tích hợp linh hoạt cùng các nguồn năng lượng tái tạo biến đổi như gió và mặt trời, địa nhiệt được kỳ vọng sẽ đóng vai trò ngày càng quan trọng trong chiến lược chuyển dịch năng lượng sạch và bền vững (Barcelona et al., 2023a; Muffle & Catadi, 1978).

Ở Việt Nam, tồn tại nhiều khu vực có tiềm năng về địa nhiệt, trong đó Đồng bằng sông Hồng được xem là một trong những vùng có triển vọng lớn, tiêu biểu là bồn địa nhiệt Hưng Hà - Quỳnh Phụ (HH-QP) phân bố trong tầng chứa nước Pleistocen với khả năng khai thác ở quy mô đáng kể. Các nghiên cứu cho thấy nhiệt độ của bồn địa nhiệt thứ sinh đạt khoảng 50 ^{o}C, trong khi bồn nguyên sinh có thể lên tới 148,6 ^{o}C, chứng tỏ nguồn năng lượng này hoàn toàn có thể khai thác để phục vụ phát triển kinh tế - xã hội. Trong bối cảnh nhu cầu năng lượng không ngừng gia tăng và yêu cầu giảm phát thải khí nhà kính trở thành mục tiêu toàn cầu, việc nghiên cứu và đánh giá tiềm năng địa nhiệt tại Đồng bằng sông Hồng là hết sức cấp thiết. Bên cạnh đó, khu vực này là vùng kinh tế trọng điểm, mật độ dân cư cao, nhu cầu năng lượng lớn cho công nghiệp, nông nghiệp và sinh hoạt, đồng thời sở hữu cấu trúc địa chất - kiến tạo phức tạp với nhiều đới đứt gãy sâu và hoạt động kiến tạo trẻ, tạo điều kiện thuận lợi cho sự tích tụ nguồn nhiệt trong lòng đất.

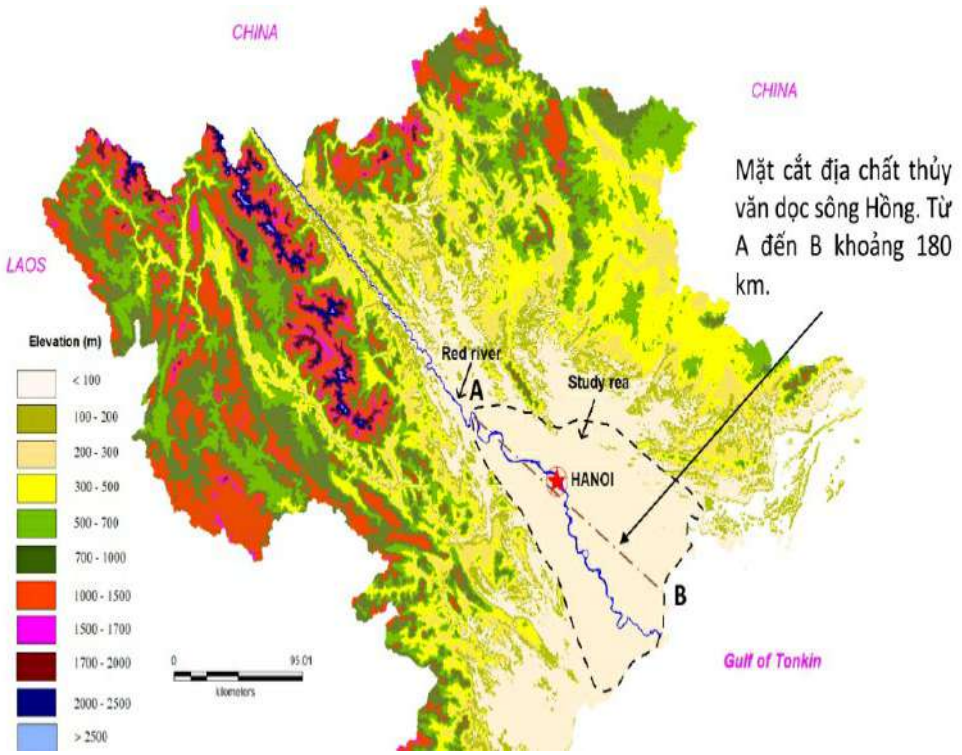
Việc làm rõ tiềm năng và đặc điểm địa nhiệt tại Đồng bằng sông Hồng không chỉ mang ý nghĩa khoa học trong việc bổ sung cơ sở dữ liệu về cấu trúc địa chất nhiệt của khu vực, mà còn có giá trị thực tiễn quan trọng trong định hướng phát triển năng lượng tái tạo. Nguồn địa nhiệt khu vực này khi được nghiên cứu và khai thác hợp lý sẽ góp phần đa dạng hóa cơ cấu năng lượng vùng và quốc gia, giảm sự phụ thuộc vào các nguồn nhiên liệu hóa thạch, đồng thời nâng cao tính bền vững và an toàn của hệ thống cung cấp năng lượng. Đặc biệt, trong chiến lược an ninh năng lượng và mục tiêu phát triển kinh tế xanh quốc gia, địa nhiệt đóng vai trò như một nguồn năng lượng sạch, ổn định, liên tục và ít chịu tác động của biến đổi khí hậu so với các nguồn tái tạo khác như gió hay mặt trời. Vì vậy, nghiên cứu địa nhiệt tại Việt Nam nói chung và tại Đồng bằng sông Hồng nói riêng không chỉ góp phần giải quyết bài toán năng lượng cho khu vực đông dân và có nhu cầu tiêu thụ cao, mà còn có ý nghĩa chiến lược đối với tiến trình chuyển dịch năng lượng và phát triển bền vững của Việt Nam.

2. Tiềm năng địa nhiệt khu vực Đồng bằng Sông Hồng

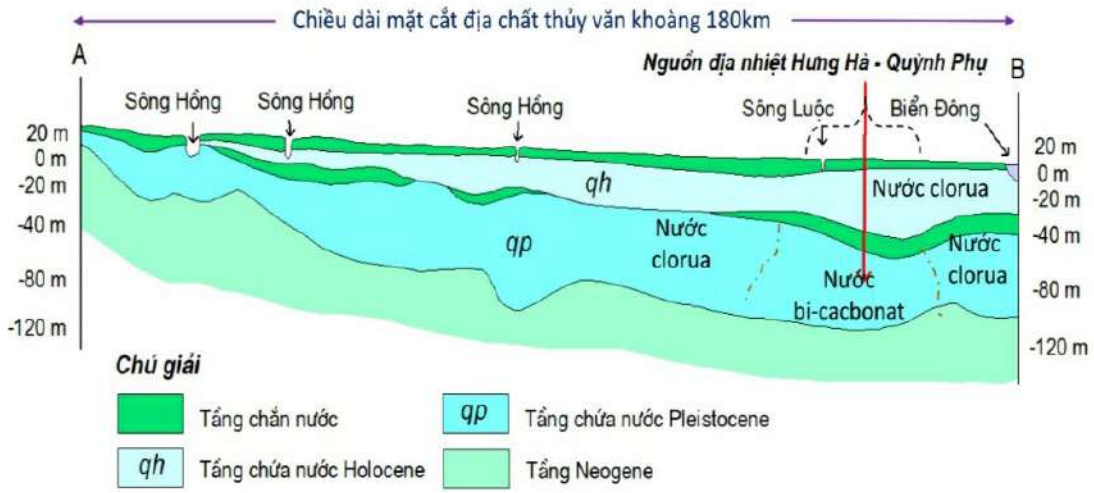
2.1 Tiềm năng nguồn địa nhiệt nông

Việc sử dụng trực tiếp tài nguyên địa nhiệt để sưởi ấm và làm mát hệ thống điều hòa không khí trong nhà, tức là trao đổi nhiệt mặt đất nông (trao đổi nhiệt địa nhiệt), là một trong những giải pháp hứa hẹn nhất để giảm lượng khí thải nhà kính do các hệ thống sử dụng nhiên liệu hóa thạch tạo ra. Trao đổi nhiệt địa nhiệt là năng lượng tái tạo, về cơ bản dựa trên dữ liệu vật lý về nhiệt độ gần như ổn định của mặt đất (đá và tầng chứa nước) chỉ cách bề mặt trái đất vài mét, tức là độ sâu mà sự thay đổi nhiệt độ khí quyển do các mùa (bức xạ mặt trời) và chu kỳ ngày đêm không làm thay đổi nhiệt độ mặt đất. Dựa trên nguyên lý vật lý trên, bộ trao đổi nhiệt nguồn mặt đất (GSHE)

được liên kết với máy bơm địa nhiệt đang trở thành một loại hệ thống điều hòa không khí trong nhà phổ biến, do tác động rất thấp đến môi trường và không ảnh hưởng đến cảnh quan. GSHE có thể được liên kết với hệ thống vòng kín theo chiều dọc hoặc chiều ngang, còn được gọi là Bộ trao đổi nhiệt giếng khoan (BHE), thường được làm bằng ống polyethylene mật độ cao (HDPI). Ngoài ra, trao đổi nhiệt địa nhiệt có thể được thực hiện thông qua các hệ thống vòng hở, luôn được kết hợp với máy bơm nhiệt nhưng khai thác trực tiếp nước ngầm. Ở khu vực vùng Đồng bằng Sông Hồng, theo kết quả đánh giá sơ bộ cho thấy điều kiện tự nhiên ở đây thuận lợi cho lắp đặt GSHE. Khu vực nghiên cứu có diện tích 15000 km^2, được bao phủ hầu hết bởi trầm tích đệ tứ (Hình 1).



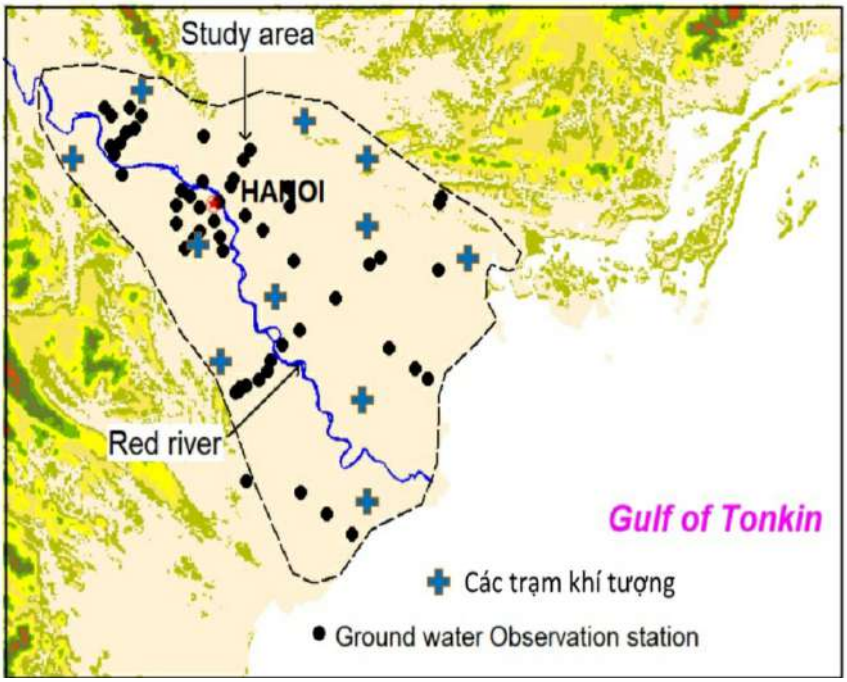
Hình 1. Vị trí mặt cắt địa chất thủy văn dọc Sông Hồng



Hình 2. Chiều dài mặt cắt địa chất thủy văn vùng Đồng bằng Sông Hồng

Hình 2 trình bày chi tiết về mặt cắt địa chất thủy văn khu vực Đồng bằng Sông Hồng, theo đó bề dày tầng chắn trên và tầng chắn dưới nằm trong khoảng 5-10m, bề dày tầng chứa nước Holocen xấp xỉ 30m, bề dày tầng chứa nước Pleitocene trong khoảng 60-65m. Về phân vùng tầng chứa nước Holocene và Pleistocene, cho thấy Holocene có 8 vùng nước ngầm, từ A-I đến A-IV và từ B-I đến B-II. Pleitocene có 10 vùng nước ngầm, từ A-I A-V và từ B-I, đến B-V.

Tại khu vực nghiên cứu, lắp đặt 77 trạm quan trắc nước ngầm với 202 giếng và 11 trạm khí tượng (Hình 3). Kết quả chi tiết về sự chênh lệch nhiệt độ ở các vùng nước ngầm tầng Holocene và Pleistocene được trình bày trong Bảng 1 và 2.



Hình 3. Hệ thống quan trắc nước dưới đất và các trạm khí tượng

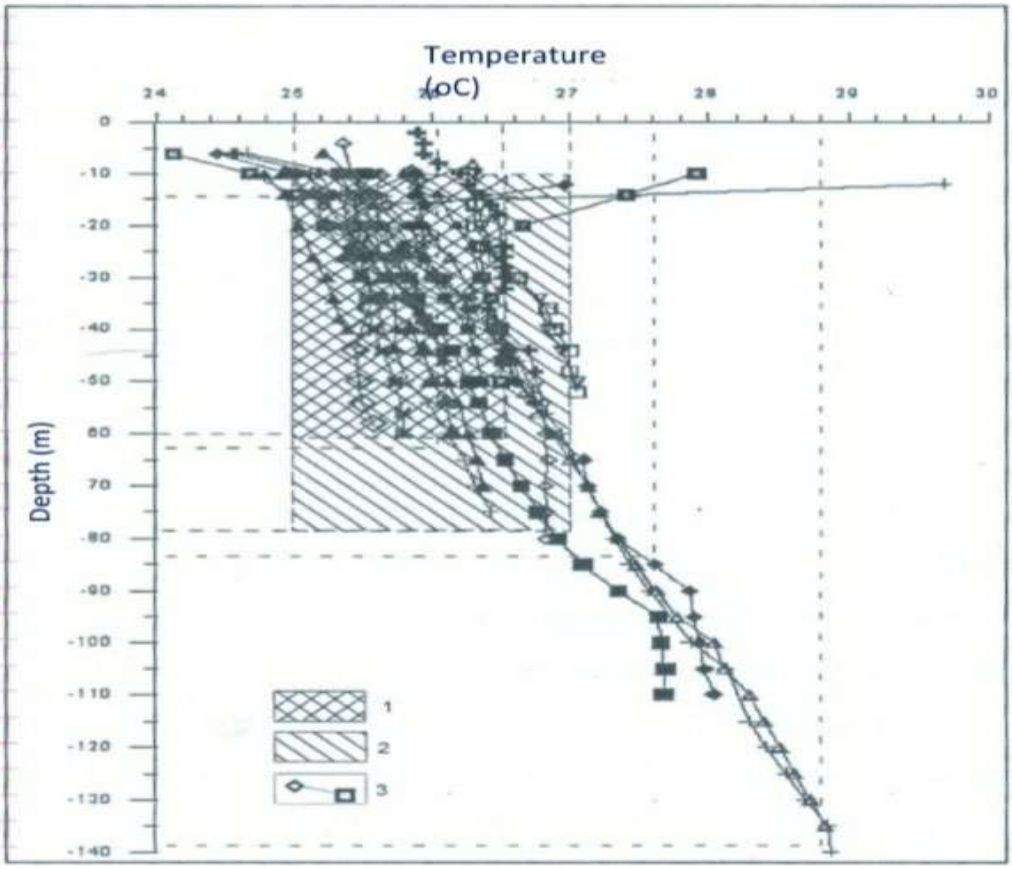
Bảng 1. *Nhiệt độ tại các vùng nước ngầm thuộc tầng Holocene*

Tầng chứa nước	A-I	A-II	A-III	A-IV	B-I	B-II
Nhiệt độ trung bình hàng năm (^{0}C)	2,6	2,8	3,2	3,0	3,1	1,1
Chênh lêch cực đại (^{0}C)	12,5	6,0	12,5	11,0	11,0	12,0
Chênh lệch cực tiểu	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,1

Bảng 2. *Nhiệt độ tại các vùng nước ngầm thuộc tầng Pleistocene*

Tầng chứa nước	A-I	A-II	A-III	A-IV	A-V	B-I	B-II	B-III	B-IV
Nhiệt độ trung bình hàng năm (^{0}C)	3,6	2,3	1,9	3,2	4,9	3,2	2,2	2,4	2,5
Chênh lệch cực đại (^{0}C)	11,5	11,0	10,0	8,0	11,5	12,0	11,5	5,0	5,0
Chênh lệch cực tiểu (^{0}C)	0,0	0,5	0,5	1,0	0,0	0,5	0,5	1,0	1,0

Sự thay đổi nhiệt độ theo chiều sâu của tầng nông được thể hiện chi tiết trong Hình 4. Theo đó, vùng 1 là tầng chứa nước Holocene với nhiệt độ 24 - 26,5 ^{o}C, vùng 2 là tầng Pleistocen nhiệt độ 25-27 ^{o}C, vùng 3 là dữ liệu được đo trong các lỗ khoan quan trắc.



Hình 4. Sự thay đổi nhiệt độ theo chiều sâu của tầng nông

Về sự thay đổi nhiệt độ chi tiết hàng tháng của các hệ tầng chứa nước qh và qp được trình bày chi tiết trong Bảng 3 và 4.

Bảng 3. *Biến thiên mức nhiệt độ hàng tháng trong hệ tầng chưa nước qh*

Tháng	Nhiệt độ cực đại	Nhiệt độ cực tiểu	Nhiệt độ trung bình
1	26,70	20,72	24,83
2	26,65	21,67	24,78
3	26,55	22,22	24,85
4	26,92	23,55	25,20
5	27,77	23,75	25,42
6	27,88	23,73	25,67
7	28,28	23,78	25,73
8	28,82	23,80	25,82
9	28,37	23,83	25,77
10	27,98	23,65	25,63
11	27,80	23,03	25,35
12	27,47	21,88	25,08

Bảng 4. *Biến thiên mức nhiệt độ hàng tháng trong hệ tầng chưa nước qp*

Tháng	Nhiệt độ cực đại	Nhiệt độ cực tiểu	Nhiệt độ trung bình
1	23,88	19,27	22,44
2	23,88	20,91	22,54
3	23,87	21,18	22,53
4	23,89	21,41	22,68
5	24,27	21,45	22,82
6	24,74	21,32	23,01
7	24,92	21,25	23,04
8	25,05	21,30	23,11
9	24,91	21,65	23,12
10	24,78	21,58	23,03
11	24,40	21,22	22,85
12	24,12	20,88	22,66

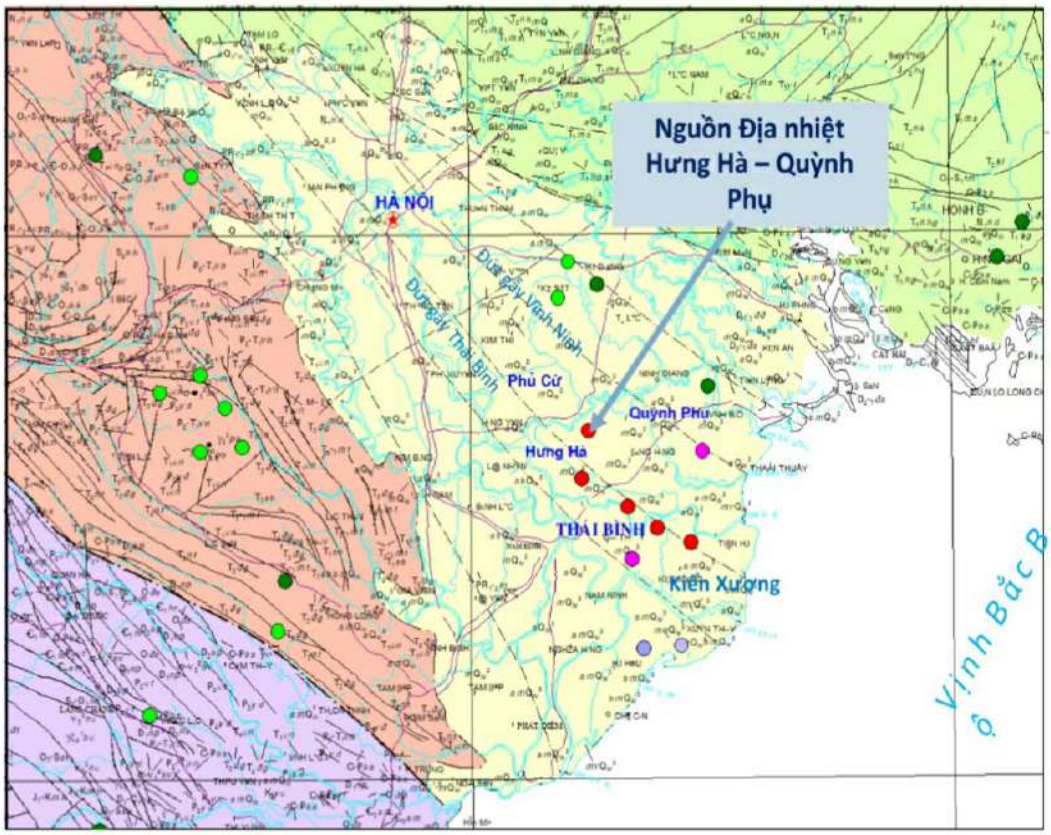
Trong khu vực nghiên cứu, nguồn nước ngầm khá dồi dào và được tìm thấy ở hầu hết các địa điểm khảo sát. Nếu khoan ở độ sâu 100m có khả năng gặp hai tầng chứa nước với mức nhiệt độ ổn định từ 24 - 27 ^{o}C.

Từ những kết quả nghiên cứu được trình bày ở trên, có thể thấy, đối với địa nhiệt tầng nông khu vực Đồng bằng Sông Hồng, nhiệt độ của nước ngầm trong các tầng chứa nước nông (24 -27 ^{o}C) phân bố rộng khắp khu vực nghiên cứu ở độ sâu 10-15m hoặc và 60-80m là chỉ số cho thấy tiềm năng khả thi cho việc lắp đặt hệ thống bơm địa nhiệt tầng nông. Bên cạnh đó, kết quả nghiên cứu ban đầu về độ dẫn nhiệt của đất đá trầm tích Đệ tứ và Neogen cho thấy khả năng lắp đặt hệ thống GSHP để làm mát và sưởi ấm không khí cho các tòa nhà ở khu vực Đồng bằng Sông Hồng là rất khả thi.

2.2 Tiềm năng nguồn địa nhiệt sâu

Khai thác nguồn năng lượng địa nhiệt sâu (từ độ sâu hơn 4000 mét), được cho là đóng vai trò quan trọng trong quá trình chuyển đổi toàn cầu sang năng lượng bền vững. Những tiến bộ trong công nghệ khoan, đặc biệt là những tiến bộ được phát triển để khai thác dầu và khí đá phiến, có tiềm năng mở khóa các nguồn tài nguyên địa nhiệt khổng lồ trên toàn thế giới. Các kỹ thuật này cho phép tiếp cận các bể chứa địa nhiệt nhiệt độ cao, khiến cho năng lượng địa nhiệt trở thành một lựa chọn khả thi cho nhiều quốc gia. Việc khai thác năng lượng địa nhiệt đòi hỏi phải hiểu biết toàn diện về cấu trúc địa chất để đảm bảo phát triển bền vững,đồng thời cũng đưa ra tầm quan trọng của kỹ thuật khoan để giảm thiểu tác động đến môi trường và tối đa hóa lợi ích kinh tế.

Ở Việt Nam, nghiên cứu cho thấy khu vực vùng Đồng bằng Sông Hồng có tiềm năng lớn về nguồn năng lượng địa nhiệt tầng sâu. Trên Hình 5 là vị trí 22 điểm xuất lộ nước nóng có nhiệt độ từ 32 - 137 ^{o}C tương ứng ở độ sâu 30m và 3.300m.



Hình 5. Các nguồn địa nhiệt ở đồng bằng sông Hồng

Bảng 5. *Thống kê các điểm nước khoáng nóng Đồng bằng Sông Hồng*

STT	Tên điểm	Vị trí	Dạng xuất lộ	Độ sâu lỗ khoan (m)	Lưu lượng (l/s)	Nhiệt độ (^{0}C)	Loại nước
1	Hải Dương	Tp Hải Dương - Hải Dương	Gk	220	16,8	32,8	Cl-Na-Ca-Mg
2	Lai Cách	Cẩm Giang - Hải Dương	Gk	1018	5,0	38,0	Cl-Na-Ca
3	Thạch Khôi	Gia Lộc - Hải Dương	Gk	711	6,6	44,0	Cl-HCO3-Na-Ca
4	Tiên Lãng	Tiên Lãng - Hải Phòng	Gk	851	6,6	59,0	HCO3-Na
5	Thôn Khả	Xã Duyên Hải - Hưng Hà - TB	Gk	90	0,7	46,8	HCO3-Na
6	Tân Tiến	Xã Duyên Hải - Hưng Hà - TB	Gk	30	0,6	41,9	HCO3-Na
7	Thôn Hội	Xã Dân Chủ - Hưng Hà - TB	Gk	30	0,5	31,0	HCO3-Na
8	Quỳnh Ngọc	Xã Quỳnh Ngọc - Quỳnh Phụ - TB	Gk	30	0,5	32,7	HCO3-Na

STT	Tên điểm	Vị trí	Dạng xuất lộ	Độ sâu lỗ khoan (m)	Lưu lượng (l/s)	Nhiệt độ (^{0}C)	Loại nước
9	Quỳnh Châu	Xã Quỳnh Châu - Quỳnh Phụ - TB	Gk	30	0,5	37,2	HCO3-Na-Ca
10	Bắc Sơn	Xã Bắc Sơn - Hưng Hà -TB	Gk	1120	-	73,0	Cl-Na
11	Phong Châu	Xã Phong Châu - Đông Hưng - TB	Gk	3300	-	114,5	Cl-Na
12	Quang Bình	Xã Quang Bình - Kiến Xương - TB	Gk	3100	-	137,7	Cl-Na
13	Hồng Tiến	Xã Hồng Tên - Kiến Xương - TB	Gk	1700	-	98,0	Cl-Na
14	Hòa Bình	Xã Hòa Bình - Kiến Xương - TB	Gk	1100	-	-	Cl-Na
15	Nam Hải 1	Xã Nam Hải - Tiền Hải - TB	Gk	1492	10,0	104,4	Cl-Na
16	Nam Hải 2	Xã Nam Hải - Tiền Hải - TB	Gk	794	-	-	Cl-Na
17	Đông Cơ	Xã Đông Cơ - Tiền Hải - TB	Gk	1708	12,0	112,0	HCO3-Cl-Na
18	Giao An	Xã Giao An - Giao Thủy - Nam Định	Gk	2184	0,2	-	Cl-Na
19	Giao Thủy	Xã Giao Thuận - Giao Thủy - Nam Định	Gk	1200	-	35,7	Cl-Na

Khảo sát thu thập mẫu nước, mẫu đá, lõi khoan và đo nhiệt độ giếng khoan, kết hợp với việc áp dụng các phương pháp thăm dò cho thấy nhiệt độ nước giếng khoan từ độ sâu từ 50m-110m dao động trong khoảng từ 37 - 50 ^{o}C. Đối với khu vực HH-QP và Phủ Cừ (diện tích khảo sát 70 km^2), tiến hành 80 điểm khảo sát, độ sâu giếng khoan từ 55m-100m. Mức nhiệt đo được từ 27 - 50 ^{o}C, trong đó 55 điểm nhiệt độ từ 36 - 50 ^{o}C. Nước từ các giếng khoan là nước áp lực.

Từ các kết quả nghiên cứu cho thấy, đối với nguồn năng lượng địa nhiệt tầng sâu của vùng Đồng bằng Sông Hồng, hệ thống điện địa nhiệt HH-QP có cấu trúc bồn kép (thứ sinh và nguyên sinh). Đây là khu vực có có tiềm năng cho khai thác năng lượng. Nhiệt độ của bồn nhiệt thứ sinh được xác định trong khoảng 50 ^{o}C, bồn nguyên sinh được ước tính khoảng 148,6 ^{o}C.

3. Kết luận

Địa nhiệt là một nguồn năng lượng sạch, ổn định và giàu tiềm năng, nổi bật với khả năng khai thác liên tục không phụ thuộc vào điều kiện thời tiết như các dạng năng lượng tái tạo khác. Với ưu thế vận hành bền bỉ và hiệu suất cao quanh năm, năng lượng địa nhiệt đang được đánh giá là một trong những lựa chọn chiến lược cho phát triển bền vững, chỉ đứng sau điện mặt trời về tiềm năng kỹ thuật trong sản xuất điện. Nghiên cứu đã chỉ ra khu vực Đồng bằng Sông Hồng, đặc biệt là vùng HH-QP, là nơi có tiềm năng lớn về địa nhiệt. Tại đây tồn tại hệ thống bồn địa nhiệt kép với hai tầng chứa nhiệt: bồn thứ sinh với nhiệt độ khoảng 50 °C và bồn nguyên sinh có nhiệt độ ước

tính khoảng 148,6 °C. Các tầng chứa nước thuộc hệ Pleistocen đóng vai trò quan trọng trong việc tích tụ và truyền dẫn nguồn nhiệt, mở ra khả năng khai thác ở quy mô lớn phục vụ cho phát triển kinh tế địa phương. Kết quả nghiên cứu đã cung cấp những bằng chứng địa chất và nhiệt học quan trọng, không chỉ góp phần làm sáng tỏ điều kiện hình thành và phân bố nguồn địa nhiệt tại khu vực này, mà còn cung cấp cơ sở khoa học đáng tin cậy phục vụ cho quy hoạch khai thác và sử dụng năng lượng địa nhiệt một cách hiệu quả và bền vững trong tương lai. Do đó, cần có các nghiên cứu chuyên sâu hơn về mô hình dòng nhiệt, trữ lượng và khả năng khai thác thực tế nhằm hỗ trợ việc triển khai các dự án năng lượng địa nhiệt tại khu vực này.

Tài liệu tham khảo

Trần Trọng Thắng, 2024. Báo cáo khoa học "Đánh giá ban đầu về tiềm năng lắp đặt bơm địa nhiệt tầng nông ở đồng bằng châu thổ sông Hồng,Việt Nam và lắp đặt thử nghiệm bơm địa nhiệt tầng nông tại viện khoa học Địa Chất và Khoáng sản ". Viện khoa học địa chất và khoáng sản, Hà Nội.

Trần Trọng Thắng, 2024. Báo cáo khoa học "Nguồn tài nguyên địa nhiệt Hưng Ha - Quỳnh Phụ, Định hướng khai thác cho mục tiêu phát triển năng lượng". Viện khoa học địa chất và khoáng sản, Hà Nội.

Muffle, P & Catadi, R. 1978. Methods for regional assesment of geothermal resources. *Geothermics*, 7 (2-4), pp 53-89. https://doi.org/10.1016/0375-6505(78)90002-0

Barcelona, H., Chiodi, A., Yagupsky, D., Peri, G., Winocur, D., Kleiman, P. 2023a. Resource assessment of the Cerro Blanco geothermal system. *Journal of South American Earth Sciences* 123, 104247, pp1-14. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104247.

Barcelona, H., Senger, M ., Yagupsky, D. 2023b. Resource assessment of the Copahue geothermal field. *Geothermics* 90, 101987, pp 1-16. https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2020.101987.

Chen, H., Zheng, F., Song, R., Zhang, C., Dong, B., Zhang, J., Zhang, Y., Wu, T. 2024. Geothermal Resource Assessment and Development Recommendations for the Huangliu Formation in the Central Depression of the Yinggehai Basin. *Sustainability* 16, 7104, pp 1-24. https://doi.org/10.3390/su16167104.

Williams, C. 2014. Evaluating the volume method in the assessment of identified geothermal resources. *GRC Trans*. 2014 (38), 967e74.

Williams, C., Reed, M., Mariner, R. 2008. A Review of Methods Applied by the U.S. Geological Survey in the Assessment of Identified Geothermal Resources.

Research and assessment of geothermal potential in the Red River Delta

Do Dinh Khuyen[1], Nguyen Van Thinh[2,*]
[1]*Vietnam Geological and Mineral Resources Department*
[2] *Hanoi University of Mining and Geolgy*
**Corresponding author: nguyenvanthinh@humg.edu.vn*

Abstract

Geothermal energy represents a clean, sustainable, and stable renewable energy source. Unlike other renewables such as wind, hydropower, or solar energy, geothermal energy is less dependent on weather and climatic conditions. Geothermal resources can be utilized for electricity generation, direct heating, and thermal energy storage. Due to the continuous nature of the heat source, geothermal power plants can operate at full capacity around the clock throughout the year. In terms of technical potential for electricity generation, geothermal energy ranks second only to solar energy among renewable sources. The sustainable exploitation of geothermal energy requires a thorough understanding of subsurface geological structures. In Vietnam, the Red River Delta - particularly the Hung Ha-Quynh Phu (HH-QP) subregion, which possesses promising geothermal potential is of special interest. This research presents an assessment of the geothermal capacity of the Red River Delta, based on an analysis of geological structural data. The results indicate that

the HH-QP area hosts a dual-basin geothermal system, consisting of secondary and primary reservoirs. In this area, the geothermal reservoir is primarily located within the Pleistocene aquifer and is considered suitable for large-scale exploitation to support regional economic development. The temperature of the secondary reservoir is approximately 50 °C, while the primary reservoir is estimated to reach around 148.6 °C. These findings contribute to a better understanding of the geothermal system's characteristics, formation conditions, and spatial distribution within the Red River Delta.

Keywords: Renewable energy; Geothermal energy; Red River Delta.

ỨNG DỤNG MÔ HÌNH HÓA THỦY LỰC TRONG ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ CÔNG ĐOẠN KHOAN 12-1/4" GIẾNG X, MỎ BẠCH HỔ

Trương Văn Từ[1,*], Nguyễn Khắc Long[1]

[1]Trường Đại học Mỏ - Địa chất

**Tác giả liên hệ: Email:truongvantuktd50@gmail.com*

Tóm tắt

Trong khoan dầu khí, mô hình hóa thủy lực (Virtual Hydraulic Modelling - VHM) đóng vai trò thiết yếu trong việc dự đoán và tối ưu hóa các thông số vận hành, đặc biệt là trong kiểm soát trọng lượng riêng dung dịch tuần hoàn tương đương (Equivalent Circulating Density - ECD) và đánh giá hiệu quả làm sạch lỗ khoan. Bài báo cáo này trình bày kết quả áp dụng VHM cho công đoạn khoan 12-1/4" của giếng X tại mỏ Bạch Hổ. Hai hệ dung dịch khoan là KCl/Polymer (9.8 ppg) và Ultradril (10.2 ppg) đã được mô phỏng và so sánh trong hai giai đoạn khoan. Các phân tích cho thấy tại lưu lượng bơm 950 gpm và tốc độ khoan trung bình 30 m/h, điều kiện làm sạch lỗ đạt mức tốt và ECD luôn duy trì dưới giới hạn chịu áp được xác định thông qua thử nghiệm độ bền vỉa (Formation Integrity Test - FIT) (12.5 ppg). Kết quả chứng minh tính hiệu quả của phương pháp mô hình hóa thủy lực trong việc tối ưu hóa tốc độ khoan và kiểm soát rủi ro trong môi trường khoan thực tế.

Từ khóa: Mô hình thủy lực (VHM); Trọng lượng riêng dung dịch tuần hoàn tương đương (ECD); Làm sạch lỗ khoan; Dung dịch khoan; Thử nghiệm độ bền vỉa (Formation Integrity Test - FIT).

1. Tổng quan vấn đề nghiên cứu

Trong công tác khoan giếng dầu khí, thủy lực giếng đóng vai trò then chốt trong việc đảm bảo sự ổn định của thành giếng, tối ưu tốc độ khoan và phòng ngừa các sự cố như mất dung dịch, kick hoặc kẹt cần. Một trong những thông số quan trọng nhất là trọng lượng riêng dung dịch tuần hoàn tương đương (ECD), phản ánh tổng áp suất tác dụng lên thành giếng khi dung dịch đang tuần hoàn. Nếu ECD vượt quá giới hạn áp suất vỉa (FIT) tại chân đế của ống chống, có thể dẫn đến nứt vỉa, mất dung dịch và thậm chí sự cố kiểm soát giếng (Bourgoyne và nnk, 1991; Rabia, 2002; Mitchell, 2015).

Bên cạnh đó, hiệu quả làm sạch lỗ khoan là một yếu tố thiết yếu ảnh hưởng đến quá trình vận chuyển mùn khoan, sự mài mòn dụng cụ, và rủi ro về kẹt cơ học (Skalle, 2010; Caenn và nnk., 2011). Nghiên cứu của Smith và Rajan (2013) cho thấy rằng trong các giếng có góc nghiêng cao hoặc tốc độ khoan nhanh, việc duy trì hiệu quả làm sạch cần kết hợp tối ưu nhiều yếu tố: tốc độ quay, lưu lượng bơm, tính chất dung dịch và độ nhớt của dung dịch khoan.

Để kiểm soát hiệu quả trọng lượng riêng dung dịch tuần hoàn tương đương và làm sạch lỗ khoan, nhiều công ty dịch vụ kỹ thuật đã ứng dụng mô hình hóa thủy lực (VHM) nhằm mô phỏng quá trình tuần hoàn và khoan dựa trên dữ liệu thực địa. VHM cho phép đánh giá ECD tại từng độ sâu, xác định vùng giới hạn vận hành, và đưa ra khuyến nghị về tốc độ cơ học khoan phù hợp với từng hệ dung dịch (Azar & Samuel, 2007; Petrov và nnk, 2018; Zhang và nnk, 2021).

Bài báo cáo này trình bày việc ứng dụng mô hình hóa thủy lực cho phần công đoạn khoan 12-1/4" của giếng X tại mỏ Bạch Hổ, với hai hệ dung dịch khác nhau: KCl/Polymer và Ultradril. Thông qua các kịch bản mô phỏng với tốc độ khoan, lưu lượng và tốc độ quay khác nhau, nghiên cứu tập trung đánh giá mức ECD tại chân đế ống chống 13-3/8" và đáy giếng, mức độ làm sạch lỗ khoan và giới hạn vận hành so với giá trị FIT. Kết quả mô hình giúp định hướng lựa chọn thông số chế độ khoan phù hợp, nâng cao hiệu quả và an toàn trong vận hành thực tế.

2. Thiết lập mô hình thủy lực và tiêu chí đánh giá vận hành khoan

2.1 Mô tả giếng và điều kiện vận hành đầu vào

Nghiên cứu được triển khai trên giếng khoan X, thuộc mỏ Bạch Hổ - một trong những mỏ dầu khí có trữ lượng lớn và điều kiện khai thác phức tạp tại thềm lục địa phía Nam Việt Nam. Mục tiêu chính của nghiên cứu là mô phỏng các kịch bản vận hành trong quá trình thi công phần giếng kích thước 12-1/4", nhằm đánh giá đặc tính thủy lực và hiệu quả làm sạch lỗ khoan dưới các điều kiện thực tế.

Các thông số kỹ thuật đầu vào sử dụng cho mô hình mô phỏng được thiết lập như sau:

- Đường kính giếng khoan: 12-1/4"
- Tốc độ quay của cụm khoan (RPM): 150 vòng/phút
- Lưu lượng bơm dung dịch (Pump flow rate): 950 gallons/phút (gpm)
- Tốc độ khoan trung bình (Rate of Penetration - ROP): 30 mét/giờ
- Chiều sâu đo (Measured Depth - MD): xấp xỉ 3000 mét

Dựa trên đặc điểm địa chất và mục tiêu thi công, quá trình khoan phần giếng được chia thành hai giai đoạn như sau:

Giai đoạn 1 (P1):

- Chiều sâu thi công: từ miệng giếng đến vị trí H40 (~2600 m MD)
- Hệ dung dịch sử dụng: KCl/Polymer - hệ dung dịch có độ nhớt trung bình, ít chất rắn và thân thiện với vỉa
- Mật độ dung dịch (Mud Weight - MW): 9.8 ppg
- Mục tiêu kỹ thuật: mô phỏng và đánh giá áp suất tuần hoàn tương đương (ECD) cũng như khả năng vận chuyển mùn khoan trong điều kiện hệ dung dịch có độ nhớt thấp và khả năng bôi trơn hạn chế.

Giai đoạn 2 (P2):

- Chiều sâu thi công: từ vị trí H44 đến đáy giếng thiết kế (Total Depth - TD)
- Hệ dung dịch sử dụng: Ultradril - hệ dung dịch cao cấp có tính bôi trơn cao và khả năng kiểm soát sạt lở thành giếng
- Trọng lượng riêng dung dịch khoan (Mud Weight - MW): 10.2 ppg
- Mục tiêu kỹ thuật: đánh giá sự biến thiên của ECD tại các điểm kiểm soát (chân đế ống chống và đáy giếng), cũng như mức độ làm sạch lỗ trong bối cảnh gia tăng áp suất và nhiệt độ theo chiều sâu.

Việc lựa chọn và cấu hình hai hệ dung dịch khoan này phản ánh sự thích ứng kỹ thuật theo điều kiện địa chất đặc thù từng đoạn giếng. Đồng thời, chiến lược này tuân thủ các khuyến nghị và hướng dẫn từ tài liệu chuyên ngành, đặc biệt là các tiêu chuẩn về lựa chọn hệ dung dịch và đánh giá hiệu năng thủy lực (Caenn và nnk, 2011; M-I SWACO, 2022).

2.2 Thông số phân tích và tiêu chí đánh giá

Để đảm bảo tính khách quan và toàn diện trong đánh giá vận hành, mô hình thủy lực (VHM) được sử dụng nhằm phân tích ba nhóm thông số kỹ thuật chính có ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả và độ an toàn của quá trình khoan phần giếng 12-1/4", bao gồm: trọng lượng riêng dung dịch tuần hoàn tương đương (ECD), hiệu quả làm sạch lỗ khoan, và biên độ an toàn so với giới hạn áp suất vỉa (FIT).

2.2.1 Mật độ tuần hoàn tương đương (Equivalent Circulating Density - ECD)

- Vị trí đánh giá: ECD được tính toán tại hai điểm kiểm soát thủy lực quan trọng gồm chân đế ống chống 13-3/8" (chân đế ống chống) và đáy giếng (Total Depth - TD).

- Ý nghĩa: ECD đại diện cho tổng áp suất tác động lên thành giếng trong điều kiện tuần hoàn dung dịch, bao gồm cả áp suất thủy tĩnh (trọng lượng riêng dung dịch tĩnh) và áp suất ma sát do chuyển động của dòng chảy.
- Tiêu chí an toàn: ECD không được vượt quá giới hạn áp suất chịu đựng của vỉa (FIT) tại chân đế ống chống nhằm tránh gây nứt vỉa, mất dung dịch và bất ổn giếng khoan (Bourgoyne và nnk, 1991; Rabia, 2002).
- Công thức tính toán ECD:

$$ECD = MW + \frac{\Delta P_{ma\ sát}}{0.052 \times TVD}$$

Trong đó:

- MW: Trọng lượng riêng dung dịch khoan (ppg);
- ΔP ma sát: chênh lệch áp suất do dòng chảy (psi);
- TVD: độ sâu theo phương đứng (ft).

- Khuyến nghị kỹ thuật:
  - Nếu ECD tiệm cận hoặc vượt ngưỡng FIT (12.5 ppg), cần giảm lưu lượng bơm hoặc ROP để duy trì ổn định áp suất thành giếng.
  - Nên duy trì ECD trong khoảng 80-90% giới hạn FIT để tạo biên độ an toàn (Mitchell, 2015; Zhang et al., 2021).

2.2.2 Hiệu quả làm sạch lỗ khoan (Hole Cleaning Efficiency)

- Chỉ báo gián tiếp: được đánh giá thông qua lượng mùn khoan thu hồi tại hệ thống sàng rung (shale shaker), độ nhớt và nồng độ pha rắn trong dung dịch hồi lưu.
- Tác động vận hành: Làm sạch lỗ không hiệu quả dẫn đến tích tụ mùn khoan trong lòng giếng, làm tăng nguy cơ kẹt cơ học, mài mòn bộ khoan, và suy giảm tốc độ khoan (Skalle, 2010; Smith & Rajan, 2013).
- Phân tích mô hình: Mối quan hệ giữa lưu lượng bơm, tốc độ quay, và tốc độ cơ học khoan được thiết lập để xác định khả năng vận chuyển mùn ra khỏi giếng một cách hiệu quả theo từng giai đoạn khoan.
- Khuyến nghị kỹ thuật:
  - Đối với hệ dung dịch KCl/Polymer (MW = 9.8 ppg), khi duy trì lưu lượng bơm ở 950 gpm, tốc độ khoan trung bình không nên vượt quá 30 m/h, nhằm đảm bảo trạng thái làm sạch tốt, điều này phù hợp với thực tế tại giếng X và nghiên cứu cổ điển của Rehm & Bourgoyne (1973).
  - Đối với hệ dung dịch Ultradril (MW = 10.2 ppg), có khả năng giữ mùn khoan cao hơn, do đó dù có khả năng bôi trơn tốt, vẫn cần duy trì tốc độ khoan dưới ngưỡng giới hạn để tối ưu khả năng vận chuyển mùn, đặc biệt trong điều kiện độ sâu lớn và gradient nhiệt - áp cao hơn.

2.2.3 Đánh giá biên độ an toàn giữa ECD và FIT

- Mục tiêu: Xác định mức độ an toàn vận hành bằng cách phân tích khoảng cách giữa ECD thực tế và giới hạn FIT tại chân đế ống chống13-3/8". Biên độ này là một chỉ tiêu phản ánh rủi ro mất dung dịch hoặc nứt vỉa trong quá trình khoan.
- Dữ liệu vận hành thực tế tại giếng X:
  - FIT đo được tại chân đế ống chống: 12.5 ppg (EMW)
  - ECD mô phỏng tại chân đế ống chống (giai đoạn P1): 10.09 ppg

- ECD tại đáy giếng (TD): 10.38-10.64 ppg
- Biên độ an toàn: xấp xỉ 1.8-2.4 ppg so với FIT, nằm trong giới hạn vận hành an toàn

• Khuyến nghị kỹ thuật:

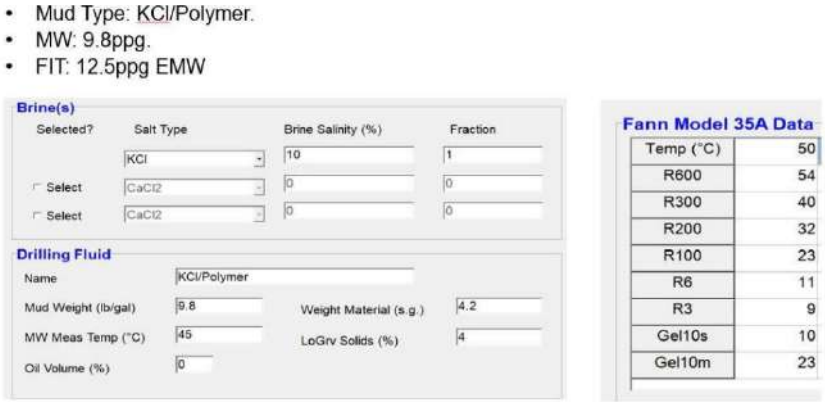
- Trong thiết kế và vận hành khoan, nên thiết lập hệ thống cảnh báo khi ECD đạt ≥90% FIT để kích hoạt điều chỉnh sớm các thông số như lưu lượng bơm, tốc độ cơ học khoan hoặc chọn lại cấu trúc dung dịch (Petrov et al., 2018).
- Mô hình thủy lực nên được cấu hình đa kịch bản nhằm dự đoán biên độ an toàn theo các tình huống vận hành khác nhau (Do Van Quang, 2024).

3. Đánh giá thủy lực và hiệu quả vận hành phần công đoạn khoan 12-1/4" giếng X, mỏ Bạch Hổ

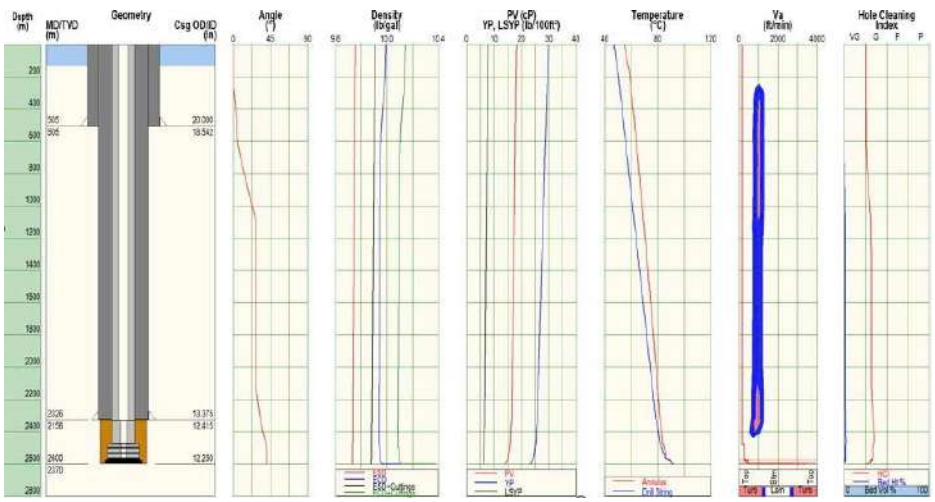
Mô hình hóa thủy lực được thực hiện cho phần giếng 12-1/4" của giếng X nhằm đánh giá các chỉ tiêu vận hành chính như ECD, điều kiện làm sạch lỗ khoan và mức độ an toàn thủy lực so với giới hạn FIT. Kết quả được phân tích theo hai giai đoạn thi công ứng với hai hệ dung dịch: KCl/Polymer và Ultradril.

3.1 Giai đoạn 1 - Hệ dung dịch KCl/Polymer (MW = 9.8 ppg)

Việc duy trì các thông số vận hành như lưu lượng bơm 950 gpm, ROP 30 m/h và tốc độ quay 150 RPM đã được xác nhận là phù hợp với đặc tính của hệ dung dịch KCl/Polymer. Như thể hiện trên hình 1, hệ dung dịch có độ nhớt tương đối thấp (PV = 14 cP, YP = 26 lb/100ft²) và độ gel ổn định (10s/10min: 10/23), giúp đảm bảo khả năng giữ mùn vừa đủ để vận chuyển hiệu quả nhưng không quá cao gây giữ mùn trong giếng.

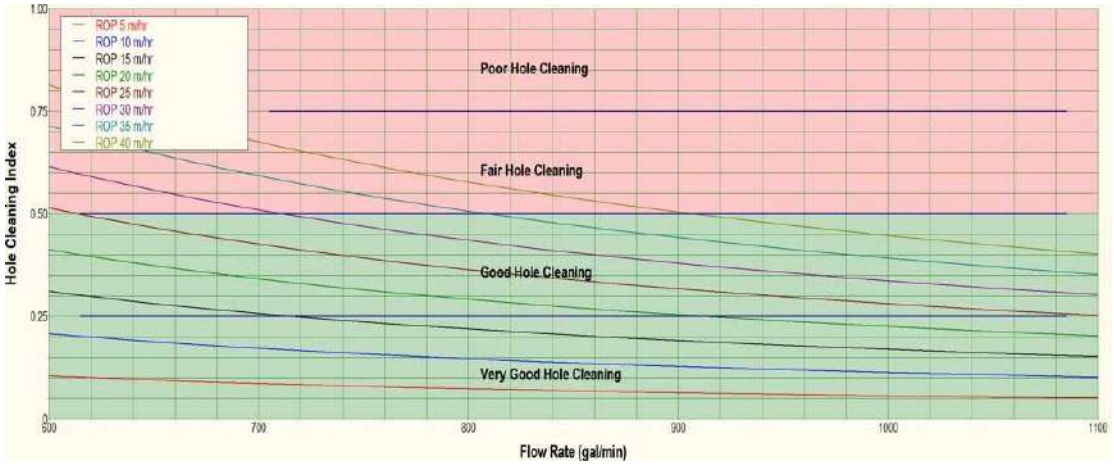


Hình 1. Thông số dung dịch KCl/Polymer và dữ liệu đo độ nhớt Fann Model 35A (Do Van Quang, 2024)



Hình 2. Biểu đồ tổng hợp mô hình thủy lực theo chiều sâu cho công đoạn 12-1/4" giếng X sử dụng dung dịch KCl/Polymer (Do Van Quang, 2024)

Trong hình 2, mô hình thủy lực theo chiều sâu thể hiện rõ các chỉ số quan trọng như vận tốc trung bình dòng chảy, chỉ số làm sạch lỗ, nhiệt độ và áp suất. Các đường biểu diễn cho thấy trọng lượng riêng dung dịch và vận tốc dòng duy trì ổn định theo chiều sâu. Giá trị ECD tại đáy giếng chỉ đạt 10.38 ppg, nằm cách giới hạn FIT đến hơn 2.1 ppg, phản ánh biên độ an toàn đáng tin cậy.



Hình 3. Biểu đồ đánh giá chỉ số làm sạch lỗ theo lưu lượng bơm và tốc độ khoan khi sử dụng hệ dung dịch KCl/Polymer (Do Van Quang, 2024)

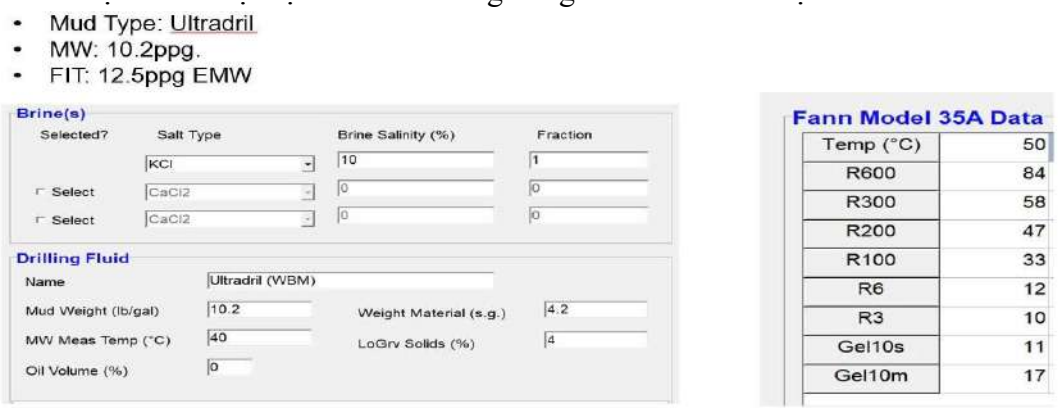
Đáng chú ý, Hình 3 - biểu đồ Hole Cleaning 3D - cho thấy vùng vận hành tương ứng với lưu lượng bơm 950 gpm và tốc độ khoan 30 m/h nằm hoàn toàn trong khu vực được phân loại là "Good Hole Cleaning", biểu thị bằng dải màu xanh lá cây. Điều này phản ánh sự tương thích cao giữa điều kiện vận hành thực tế và các thông số vận hành tối ưu được xác lập thông qua mô hình hóa.

Ngoài ra, đánh giá từ mô hình cho thấy không có lo ngại về việc ECD tại chân ống chống vượt quá giới hạn FIT, khẳng định rằng áp suất tuần hoàn tương đương tại casing shoe vẫn nằm trong giới hạn an toàn thủy lực. Kết quả này đóng vai trò như một bằng chứng định lượng đáng tin cậy, xác thực hiệu quả của lựa chọn hệ dung dịch và thông số thiết kế khoan đã được áp dụng.

Những phát hiện trên cho thấy mô hình thủy lực không chỉ phản ánh sát thực điều kiện giếng mà còn hỗ trợ tích cực trong việc tối ưu hóa vận hành và kiểm soát rủi ro trong thi công giếng khoan.

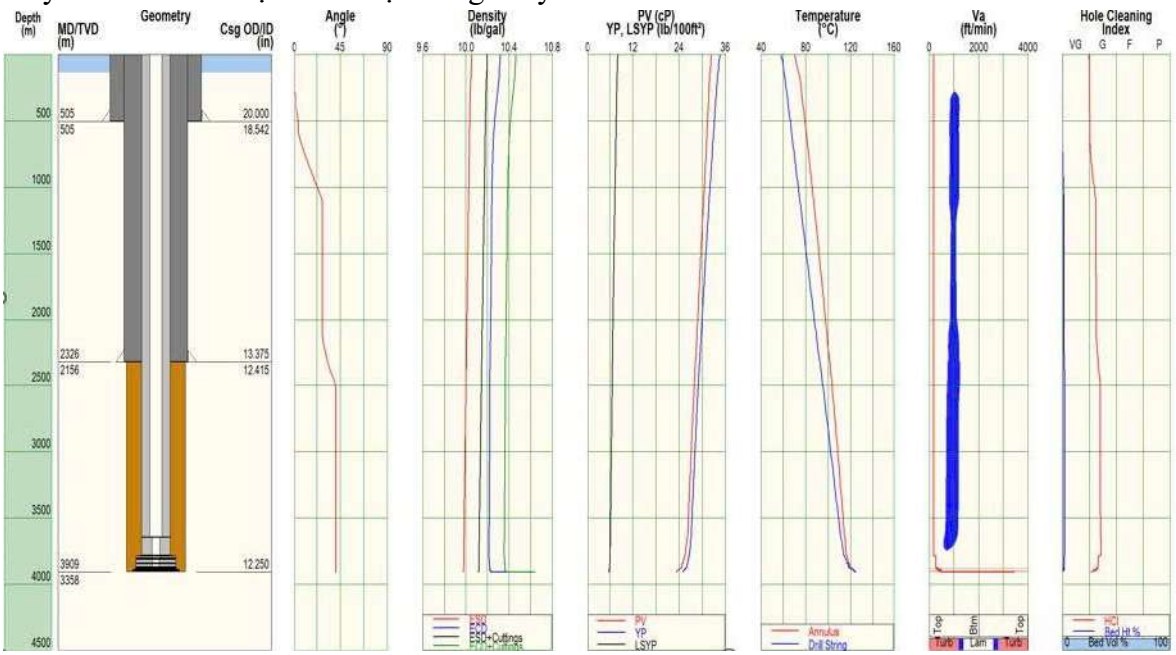
3.2 Giai đoạn 2 - Hệ dung dịch Ultradril (MW = 10.2 ppg)

Giai đoạn từ khoảng nghiên cứu đến đáy giếng (khoảng 3000 m MD) được thi công bằng hệ dung dịch Ultradril, với trọng lượng riêng cao hơn (10.2 ppg) nhằm tăng cường khả năng ổn định thành giếng và kiểm soát sạt lở trong điều kiện nhiệt độ và áp suất cao. Mô hình VHM cho thấy rằng, với lưu lượng bơm giữ nguyên ở 950 gpm và tốc độ khoan ROP $\leqslant$ 30 m/h, hệ thống vẫn duy trì hiệu quả vận chuyển mùn ở mức tốt. Biểu đồ Hole Cleaning 3D ở hình 4 minh họa rõ ràng rằng cấu hình vận hành hiện tại vẫn nằm trong vùng an toàn về làm sạch lỗ khoan.

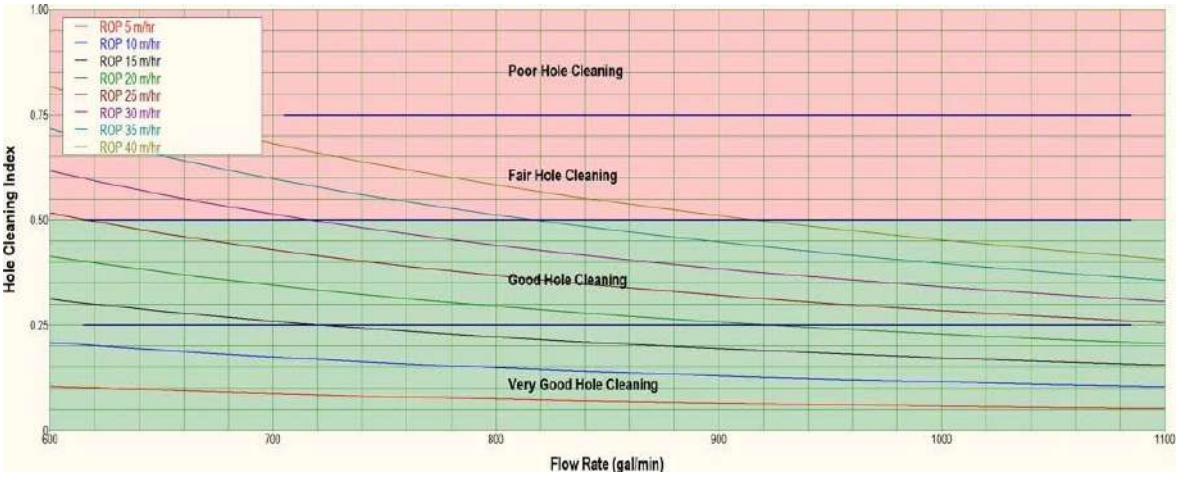


Hình 4. Thông số dung dịch Ultradril và dữ liệu đo độ nhớt Fann Model 35A (Do Van Quang, 2024)

Tuy nhiên, do sử dụng dung dịch có mật độ và độ nhớt cao hơn, ECD trong giai đoạn này có xu hướng tăng nhẹ. Giá trị ECD tại chân đế ống chống đạt khoảng 10.37 ppg, trong khi tại đáy giếng, mô hình ghi nhận ECD ~10.64 ppg (hình 5 và 6). Tuy vậy, các giá trị này vẫn nằm dưới giới hạn FIT 12.5 ppg, với biên độ an toàn thủy lực khoảng 1.8 ppg. Theo phân tích mô hình hóa: tại lưu lượng bơm 950 gpm và tốc độ khoan 30 m/h, ECD tại đáy giếng nhỏ hơn 10,7 ppg (trọng lượng tương đương cột dung dịch). Mặc dù hệ Ultradril kiểm soát thành giếng tốt hơn ở vùng sâu, việc giám sát ECD cần được thực hiện thường xuyên hơn để phòng tránh nguy cơ vượt FIT khi có sự thay đổi về ROP hoặc điều kiện dòng chảy.



Hình 5. Biểu đồ tổng hợp mô hình thủy lực theo chiều sâu cho công đoạn 12-1/4" giếng X sử dụng dung dịch Ultradril (Do Van Quang, 2024)



Hình 6. Biểu đồ đánh giá chỉ số làm sạch lỗ theo lưu lượng bơm và tốc độ khoan khi sử dụng hệ dung dịch Ultradril (Do Van Quang, 2024)

3.3 So sánh hai hệ dung dịch khoan

Tổng hợp các kết quả mô hình hóa từ hai giai đoạn cho thấy rằng cả hai hệ dung dịch đều đáp ứng được yêu cầu vận hành trong giới hạn kỹ thuật. Tuy nhiên, hệ KCl/Polymer cho biên độ an toàn cao hơn do ECD thấp hơn, phù hợp với đoạn giếng nông và môi trường áp suất thấp. Trong khi đó, hệ Ultradril mặc dù có ECD cao hơn nhưng lại có ưu thế trong kiểm soát sạt lở và ổn định thành giếng tại vùng giếng sâu hơn (bảng 1).

Bảng 1. *So sánh các thông số thủy lực và hiệu quả làm sạch lỗ giữa hai hệ dung dịch KCl/Polymer và Ultradril tại công đoan khoan12-1/4" - giếng X*

Thông số	KCl/Polymer (9.8 ppg)	Ultradril (10.2 ppg)
ECD tại shoe casing	10.09 ppg	10.37 ppg
ECD tại đáy giếng (TD/2600 m)	10.38 ppg	10.64 ppg
FIT tại shoe casing	12.5 ppg	12.5 ppg
Điều kiện làm sạch lỗ	Tốt	Tốt
Lưu lượng bơm khuyến nghị	950 gpm	950 gpm
ROP khuyến nghị	≤ 30 m/h	≤ 30 m/h

Từ bảng so sánh trên, có thể thấy hệ dung dịch nào cũng phù hợp nếu duy trì đúng thông số vận hành. Tuy nhiên, trong thiết kế khoan nên ưu tiên phân tích mô hình thủy lực (VHM) nhiều phương án và thiết lập giới hạn cảnh báo khi ECD tiệm cận 90% FIT để đảm bảo an toàn tối đa.

4. Kết luận và kiến nghị

- Nghiên cứu ứng dụng mô hình thủy lực (VHM) trong quá trình thi công đoạn 12-1/4" của giếng X, mỏ Bạch Hổ đã cho thấy hiệu quả rõ rệt trong việc phân tích và kiểm soát các chỉ tiêu vận hành quan trọng, đặc biệt là trọng lượng riêng dung dịch tuần hoàn tương đương (ECD) và điều kiện làm sạch lỗ khoan.

- Kết quả mô hình cho thấy, cả hai hệ dung dịch KCl/Polymer (MW = 9.8 ppg) và Ultradril (MW = 10.2 ppg) đều đảm bảo hoạt động ổn định trong giới hạn an toàn, khi duy trì lưu lượng bơm ở mức 950 gpm và tốc độ khoan không vượt quá 30 m/h. Giá trị ECD tại shoe casing luôn nằm dưới giới hạn FIT (12.5 ppg), với biên độ an toàn dao động từ 1.8-2.4 ppg, khẳng định tính phù hợp của cấu hình vận hành được lựa chọn.

- Ngoài ra, việc mô phỏng điều kiện làm sạch lỗ dựa trên dữ liệu thực tế và các tham số lưu biến đã giúp nhận diện rõ vùng vận hành tối ưu nhằm hạn chế rủi ro tích tụ mùn khoan - yếu tố thường gặp gây kẹt cần, giảm tốc độ khoan hoặc hư hỏng chồi khoan.

- Kết quả nghiên cứu không chỉ có giá trị tham khảo cho giếng X mỏ Bạch Hổ mà còn có thể mở rộng áp dụng trong các chiến dịch khoan có điều kiện vận hành tương tự, góp phần giảm thiểu sự cố kỹ thuật và nâng cao hiệu suất thi công giếng khoan.

Tài liệu tham khảo

Aadnoy, B. S. (2006). Modern Well Design. CRC Press.

Azar, J. J., & Samuel, G. R. (2007). Drilling Engineering. PennWell Corporation.

Bourgoyne, A. T., Millheim, K. K., Chenevert, M. E., & Young, F. S. (1991). Applied Drilling Engineering. SPE Textbook Series.

Caenn, R., Darley, H. C. H., & Gray, G. R. (2011). Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids (6th ed.). Gulf Professional Publishing.

Mitchell, R. F. (2015). Advanced Well Control. SPE Publications.

Rabia, H. (2002). Oilwell Drilling Engineering: Principles and Practice. Graham & Trotman.

Skalle, P. (2010). Drilling Fluid Engineering. Bookboon.

Smith, R. V., & Rajan, A. (2013). Hole Cleaning Optimization in High-Angle Wells. SPE Drilling & Completion, 28(1), 48-56.

Petrov, D., Khamitov, R., & Mavletdinov, A. (2018). Hydraulic Optimization of Drilling Parameters Using Virtual Modelling. Journal of Petroleum Science and Engineering, 171, 660-670.

Zakaria, M. M., et al. (2020). Data-Driven Modelling of ECD for Wellbore Stability in HPHT Wells. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 78, 103287.

Zhang, Y., Han, D., & Gao, J. (2021). Virtual Hydraulic Simulation for Real-Time ECD Prediction in

Complex Wellbores. Energy Reports, 7, 2913-2922.

Schlumberger. (2020). Drilling Engineering Manual. Internal Corporate Reference Guide.

M-I SWACO. (2022). Ultradril System Technical Manual. Internal Technical Publication.

Do Van Quang. (2024). Virtual Hydraulic Modelling Report - X Well. M-I Oil & Gas Services Vietnam L.L.C.

Rehm, B., & Bourgoyne, A. T. (1973). Development of a Computer Model to Study the Effect of Drilling Variables on Hole Cleaning. SPE Journal, 13(5), 369-378.

Chenevert, M. E., & Sharma, M. M. (1992). Mudcake Formation and Filtration Mechanisms with Water-Based Drilling Fluids. Journal of Petroleum Technology, 44(02), 140-146.

Hydraulic modelling application for performance evaluation of the 12-1/4" drilling interval of Well X, White Tiger field

Truong Van Tu[1,*], Nguyen Khac Long[1]

[1]*Hanoi University of Mining and Geolgy*

**Corresponding author: Email: truongvantuktd50@gmail.com*

Abstract

In oil and gas drilling operations, Virtual Hydraulic Modelling (VHM) plays a critical role in predicting and optimizing operational parameters, particularly in managing Equivalent Circulating Density (ECD) and evaluating hole cleaning efficiency. This paper presents the application of VHM in the 12-1/4" section of the X well located in the White Tiger field. Two drilling fluid systems-KCl/Polymer (9.8 ppg) and Ultradril (10.2 ppg)-were simulated and analyzed across two distinct drilling phases. Results indicate that at a pump rate of 950 gpm and an average Rate of Penetration (ROP) of 30 m/h, hole cleaning conditions remained in "good" status, and ECD values consistently stayed below the Formation Integrity Test (FIT) limit of 12.5 ppg. The findings demonstrate the effectiveness of VHM in optimizing drilling rates and minimizing risks under actual field conditions.

Keywords: Virtual Hydraulic Modelling (VHM); Equivalent Circulating Density (ECD); Hole Cleaning; Drilling Fluid System; Formation Integrity Test (FIT).

PENETRATION RATE PREDICTION USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

Nguyen Huu Truong[1,*]
[1]*Petrovietnam University*
**Corresponding author: Email: truongnh@pvu.edu.vn*

Abstract

The aim of drilling optimization is to reduce drilling costs and non-productive time (NPT) in drilling operations. The penetration rate directly affects the overall cost and the cost per foot of the drilling process. Thus, prediction and optimization of the penetration rate for drilling wells are crucial parameters for improving drilling efficiency. Many factors influence the drilling rate of penetration. Typical determinants include formation properties, mud rheology, weight on bit, bit rotation speed, bit type, wellbore inclination, and bit hydraulics. The simultaneous effect of six variables on penetration rate using real field drilling data, including measured well depth, weight on bit, rotational speed, moment torque of the drill string, standpipe pressure, and mud pump flow rate, has been investigated. Response Surface Methodology (RSM) was employed to develop a mathematical relation between penetration rate and these six factors. In this study, penetration rate models based on full quadratic, linear with interaction variables, linear with squares, and linear formulations were correlated using RSM, and then actual penetration rate was compared with the ROP models. The results show that the model with the highest R square is considered the best predictor of penetration rate for nearby wells in the field.

***Keywords**:* Response surface methodology, Penetration rate model, six variables.

1. Introduction

Drilling optimization is a central concern in petroleum engineering because it directly influences drilling costs, operational efficiency, and overall project economics. The primary objectives are to shorten drilling time, minimize non-productive intervals, improve wellbore quality, and ensure operational safety. Among various performance indicators, the rate of penetration (ROP) is the most widely used, as it measures the speed at which a bit advances through the formation. Since drilling costs are directly linked to the time required to reach the target depth, even modest improvements in ROP can yield significant cost savings. However, ROP prediction and optimization remain challenging because the parameter is affected by a combination of geological, mechanical, and hydraulic factors. Research on ROP modeling and optimization has evolved considerably. Early studies by Graham and Muench (1959) and Maurer (1962) established empirical relationships between weight on bit (WOB), rotation per minute (RPM), depth, and penetration rate. Galle et al. (1963) developed operational charts for bit selection, while Bingham (1965) simplified Maurer's model to fit limited drilling conditions. Teale (1965) introduced the Mechanical Specific Energy (MSE) concept, relating drilling efficiency to the uniaxial compressive strength (UCS) of rock, and Eckel (1967) experimentally confirmed the role of overbalance pressure in reducing ROP. Bourgoyne and Young (1974) later advanced the field with a widely adopted regression-based empirical model incorporating eight drilling functions, notable for its simplicity and adaptability. Subsequent contributions further enhanced predictive capabilities. Warren (1987) tailored models for soft formations, Al-Betairi et al. (1988) incorporated both controllable and uncontrollable parameters, and Maidla and Ohara (1991) integrated optimization software for roller-cone bits. Later, Hareland and Rampersad (1994) developed a drag bit model considering UCS, WOB, RPM, and bit geometry. Motahhari et al. (2010) expanded ROP prediction for PDC bits by including bit wear and confined compressive strength (CCS). Hareland et al. (2010) refined UCS estimation with laboratory data, while Alum and Egbon (2011) emphasized the role of equivalent circulating density (ECD). More recently,

Jahanbakhshi et al. (2012) applied neural networks, achieving higher predictive accuracy compared to traditional regression models. Despite these advances, limitations persist. Traditional models are often site-specific because coefficients must be calibrated with local data, restricting their general applicability (Bourgoyne & Young, 1974; Eren & Ozbayoglu, 2011). They also assume linearity, which fails to capture nonlinear interactions among WOB, RPM, mud properties, and hydraulics (Motahhari et al., 2010). Predictive accuracy remains limited; even the Bourgoyne and Young model often produces R-squared values inadequate for real-time use (Jahanbakhshi et al., 2012). In addition, many models oversimplify uncontrollable factors such as lithology, pore pressure, and wellbore trajectory (Al-Betairi et al., 1988) and require frequent recalibration, which is costly and data dependent (Maidla & Ohara, 1991). To address these gaps, Response Surface Methodology (RSM) offers a suitable alternative. RSM is a statistical and mathematical technique designed to model and optimize processes influenced by multiple variables (Myers & Montgomery, 2008). Unlike simple regression, it accommodates quadratic and interaction effects, enabling a more realistic representation of drilling dynamics. RSM also provides visual tools, such as contour plots and three-dimensional surfaces, to illustrate the combined influence of controllable parameters like WOB, RPM, and flow rate, thereby guiding operational decision-making. In this study, RSM was applied to field data from six offset wells drilled in the Oligocene formation, focusing on the 8-1/2-inch hole section. The quadratic RSM model achieved higher R-squared values and more accurate predictions than traditional models. Importantly, it requires no specialized laboratory testing or repeated coefficient recalibration, reducing both cost and complexity. By relying on routinely collected drilling data, RSM enables practical real-time application. In summary, RSM provides a robust framework for ROP prediction and drilling optimization. It overcomes the weaknesses of empirical models, offers greater interpretability than black-box machine learning methods, and delivers reliable tools for improving drilling performance. This study demonstrates the potential of RSM to enhance drilling efficiency, reduce operational costs, and support both academic research and field practice.

2. Methodology

The drilling data were collected from 8-1/2-inch production holes in a vertical offshore well drilled in the Oligocene formation of the Cuu Long Basin, using a consistent bottom hole assembly (BHA). Only parameters available in real time were utilized to enable real-time determination of the rate of penetration (ROP). Surface data were recorded by sensors based on drilled meterage. The monitored parameters included ROP (m/h), flow rate (liters/second), drillstring rotation speed (rpm), standpipe pressure (SPP, atm), torque (m·kg), weight on bit (WOB, tons), and well depth (m). The study examines the combined influence of drilling variables on ROP. Although many parameters affect drilling performance, not all are necessary for practical ROP models due to complexity and data availability. Previous studies identified well depth, WOB, bit rotation speed, and bit jet impact force as primary determinants of ROP (Galle and Woods, 1963; Mechem and Fullerton, 1965; Bourgoyne and Young, 1974; Al-Betairi et al., 1988; Ping et al., 2014; Hankins et al., 2014). A preliminary regression analysis of the field data further demonstrated that six parameters such as well depth, WOB, bit rotation speed, drillstring torque, standpipe pressure, and mud pump flow rate significantly affect ROP. Consequently, these six variables were selected as the major inputs for the final prediction model. To investigate their relationships with ROP, Response Surface Methodology (RSM) was applied. RSM is a statistical and mathematical approach used for process modeling, prediction, and optimization (Myers and Montgomery, 2008). Depending on statistical significance at a specified confidence level, either first-order or second-order models were employed. The second-order polynomial equation provides a functional representation of the interaction between independent drilling variables and the dependent variable, ROP (Y) (Box and Wilson, 1951).

$$Y = \beta_0 + \sum_{j=1}^{k} \beta_j x_j + \sum_{j=1}^{k} \beta_{jj} x_{jj}^2 + \sum_{j<1}^{k-1} \sum_{j=2}^{k} \beta_{ij} x_i x_j + \epsilon \quad (1)$$

Where:

Y: Response variable (e.g., rate of penetration)

β_0: Intercept term

β_i: Coefficients of the linear terms

β_{ii}: Coefficients of the quadratic terms

β_{ij}: Coefficients of the interaction terms

x_{jj}: Represents the quadratic (nonlinear) effect of X_j.

β_j: represents the linear effect of X_j on Y.

x_i, x_j: Independent variables (e.g., weight on bit, rotary speed, mud flow rate, etc.)

ϵ: Random error term.

3. Results and disscussions

Firstly, the data were filtered to include only the 8-1/2" hole section and the corresponding bit run/BHA. Records were restricted to on-bottom drilling (WOB > 0, RPM > 0, Q > 0, ROP > 0), while non-drilling states (e.g., connections, tripping, pump-off, reaming/back-reaming) were excluded. All input variables were standardized to consistent units, and the dataset was cleaned to remove noise and outliers. To obtain (2), (3), and (4), prepare the dataset. Open Minitab version 16 and create a data table with the following columns: ROP, X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, and X_6. Specify or initialize the design by navigating to Stat → DOE → Response Surface → Create Design (or Define Custom Design if an existing dataset is available). Conduct the analysis by going to Stat → DOE → Response Surface → Analyze Response Surface Design (Response: ROP; Factors: X_1-X_6). Select the terms linear, quadratic (square), and two-way Interactions. Based on the data in Table 1 and the uncoded parameters, with the objective of predicting the rate of penetration (ROP), the following model describes the relationship between ROP and the independent drilling parameters:

$$\mathrm{ROP}, \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{h}} = 77.77 - 0.12393X_1 + 0.349X_2 + 1.4004X_3 + 0.0666629X_4 + 0.39628X_5 - 1.8949X_6 \quad (2)$$

Table 1. *ANOVA table.*

ECD, ppg	DF	SS	MS	F	P
Total	75	1731.87			
Regression	6	1253.40	208.90	30.12	0.000
Residual Error	69	478.48	6.93		
S = 2.633; R^2= 72.4% R-$_{Sq(adj)}$ = 69.97%					

DF (degrees of freedom) is the number of independent pieces of information used to estimate each sum of squares. For a model with an intercept: Total DF = n - 1; Regression DF = p; Residual DF = n - p - 1. In this analysis: Total DF = 75 (n = 76); Regression DF = 6 (p = 6); Residual DF = 69. SS (sum of squares) quantifies variation in the response, where Total SS = Regression SS + Residual SS. MS (mean square) is the variance estimate for each source of variation, calculated as MS = SS / DF. F (F-statistic) is the ratio MS(Regression)/MS(Residual), used to test H_0: $\beta_1 = \beta_2 = \ldots = \beta p = 0$. The p-value gives the probability, under H_0, of observing an F-statistic as large as or larger than the computed value; a small p-value (typically < 0.05) indicates statistical significance. The coefficient of determination (R^2 = 0.7237), as shown in the ANOVA table for the linear model, indicates that approximately 72.37% of the variability in the data is explained by the model. Consequently, over 5% of the variation remains unexplained. Furthermore, the adjusted coefficient

of determination (Adjusted R^2 = 0.6997) reflects a relatively low value, suggesting a limited improvement of the model when accounting for the number of predictors. In addition, Figure 1 presents an error evaluation between the actual ROP (m/h) and the predicted ROP (m/h) based on the linear model (Equation 2). It is evident that most data points exhibit prediction errors exceeding 0.5%. Therefore, both the linear models are not statistically significant. The linear equation used to predict ROP is as follows:

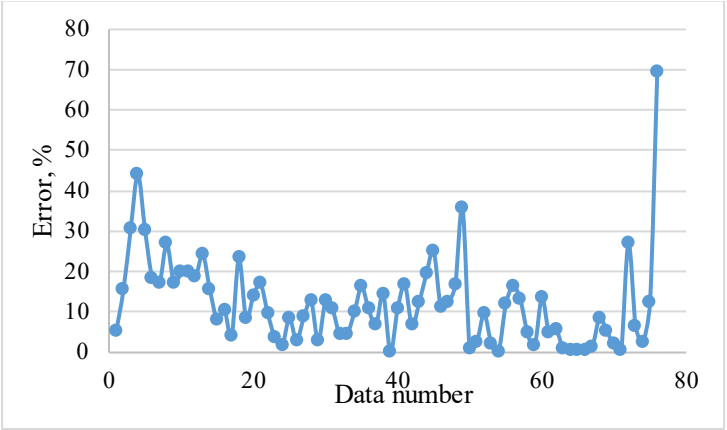


Figure 1. An error estimation between actual ROP and predicted ROP under linear model.

The coefficient of determination (R^2 = 0.8048) was reported in the ANOVA analysis for the linear and interaction model. This indicates that over 10% of the variability in the response was not explained by the linear and quadratic variables. Moreover, the adjusted coefficient of determination (Adjusted R^2 = 81.47) reflects a relatively low value, further suggesting limitations in the model's explanatory power. Additionally, Figure 2 presents the error evaluation between the actual ROP (m/h) and the predicted ROP (m/h) based on the linear and quadratic models. It is noticeable that most of the data points exhibit prediction errors greater than 0.5%, indicating significant discrepancies between the observed and predicted values. Therefore, it can be concluded that the linear and quadratic models are not statistically significant in predicting ROP. The linear and quadratic equations for predicting ROP are as follows:

$$ROP = -31568.3 + 19.1483X_1 + 8.58812X_2 - 17.1781X_3 + 0.8644X_4 + 6.339X_5 - 3.56X_6 - 0.003X_1^2 - 1.731X_2^2 + 0.081X_3^2 - 1.59 \times 10^{-4}X_4^2 - 0.0176X_5^2 + 0.052X_6^2 \quad (3)$$

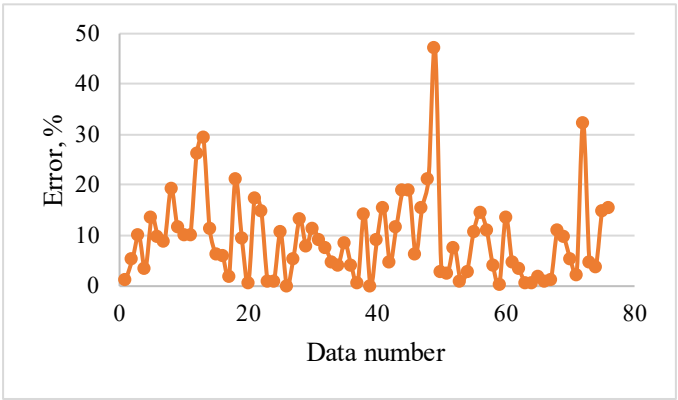


Figure 2. An error estimation between actual ROP and predicted ROP under linear and quadratic model.

The coefficient of determination for the quadratic regression model was R^2 = 0.8657, indicating that approximately 86.57% of the variation in the response variable was explained by the model, while only about 13.43% remained unexplained. Additionally, the adjusted coefficient of determination was found to be Adjusted R^2 = 0.7901, further supporting the adequacy of the

model after accounting for the number of predictors. Figure 3 presents the error evaluation between the actual and predicted values of the Rate of Penetration (ROP) in meters per hour (m/h) based on the full quadratic model. It is noteworthy that the prediction error for nearly all data points was less than 0.5%, demonstrating high predictive accuracy. Therefore, full quadratic terms in the model was statistically significant. The Second-Order Polynomial Equation used for ROP prediction is expressed as follows:

$$\begin{aligned}\mathrm{ROP}, \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{h}} = {} & -242735 + 89.9178X_1 - 205.105X_2 + 768.401X_3 + 0.406937X_4 + 99.9372X_5 \\ & + 2527.28X_6 + 0.00458778X_1^2 + 0.339262X_2^2 + 0.103725X_3^2 + 3.6 \times 10^{-4}X_4^2 \\ & + 0.151366X_5^2 + 1.18314X_6^2 + 0.04384X_1X_2 + 0.264672X_1X_3 + 0.00116674X_1X_4 \\ & + 0.0105122X_1X_5 + 0.8828X_1X_6 \\ & + 0.69X_2X_3 + 0.0255X_2X_4 + 0.79X_2X_5 - 6.81X_2X_6 + 0.00106X_3X_4 + 0.0093X_3X_5 + 2.33X_3X_6 + \\ & 0.0049X_4X_5 + 0.04X_4X_6 + 0.33X_5X_6. \end{aligned} \quad (4)$$

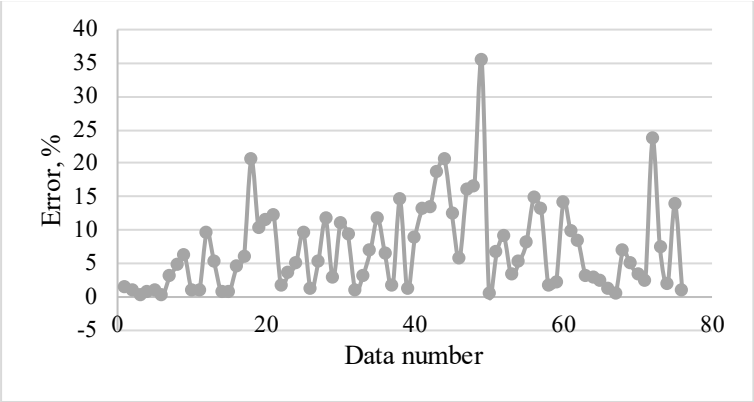


Figure 3. An error estimation between actual ROP and predicted ROP under full quadratic model.

Table 2. *The range of factors.*

Factor	Uncoded factor	Min value	Mean value	Max value
D (m)	X1	3203.29	3236.155	3269.02
WOB (tonnes)	X2	1.18	3.35	5.52
N (rpm)	X3	95	107.5	120
T (m.kg)	X4	2421.57	2652.97	2884.37
SPP (atm)	X5	180.8	193.95	207.1
Q (l/second)	X6	31.84	39.55	47.26

Where Factor represents the drilling variable in real units; D(m) is the measured depth, reflecting formation conditions; WOB (t) is the weight on bit, measured from the hook load; N (rpm) is the rotation speed; T (m·kg) is the drillstring torque, measured from top drive sensors; SPP (atm) is the standpipe pressure; Q (L/s) is the pump flow rate, estimated from pump strokes × displacement × efficiency; Uncoded factors (X1…X6) are the real-unit variables used in the regression; Min/Mean/Max define the operating window for DOE/RSM, where Mean = (Min + Max)/2.

Table 3. *Regression coefficients of the predicted quadratic polynomial model.*

No	ROP (m/h)	Coeff. SC	Std. Err.	P
1	Constant	-242735	577.107	0.636
2	X1	89.9178	209.194	0.768
3	X2	-205.105	339.148	0.799
4	X3	768.401	487.678	0.835
5	X4	0.406937	143.869	0.688
6	X5	99.9372	344.259	0.942
7	X6	2527.28	511.516	0.420
8	X1*X1	0.00458778	3.883	0.208
9	X2*X2	0.339262	10.180	0.876
10	X3*X3	0.103725	52.677	0.760
11	X4*X4	3.56785E-04	13.501	0.164
12	X5*X5	0.151366	35.247	0.164
13	X6*X6	1.18314	423.083	0.869
14	X1*X2	0.0438388	8.973	0.729
15	X1*X3	0.264672	85.527	0.210
16	X1*X4	0.00116674	7.069	0.216
17	X1*X5	0.0105122	18.222	0.732
18	X1*X6	0.882812	328.558	0.499
19	X2*X3	0.687506	81.135	0.819
20	X2*X4	0.0254756	14.449	0.380
21	X2*X5	0.787299	38.446	0.424
22	X2*X6	-6.80942	375.375	0.763
23	X3*X4	0.00105722	33.594	0.928
24	X3*X5	0.0928837	63.513	0.741
25	X3*X6	2.32745	482.844	0.644
26	X4*X5	0.00485955	28.748	0.481
27	X4*X6	0.0403155	181.124	0.693
28	X5*X6	0.326441	385.710	0.906

Where Intercept (β_0); $X_1 \ldots X_6$ are the linear coefficients β_j (linear effects); Xj^2 are the quadratic coefficients β_{jj} (nonlinear effects); and X_iX_j are the interaction coefficients β_{ij} (combined effects). To estimate these coefficients, Ordinary Least Squares (OLS) regression is applied to the design matrix X. The coefficients are estimated as: $\beta' = (X'X)^{-1} X'Y$. In Minitab, use Stat → DOE → Response Surface → Analyze Response Surface Design (select terms: Linear, Quadratic, and Two-way Interactions).

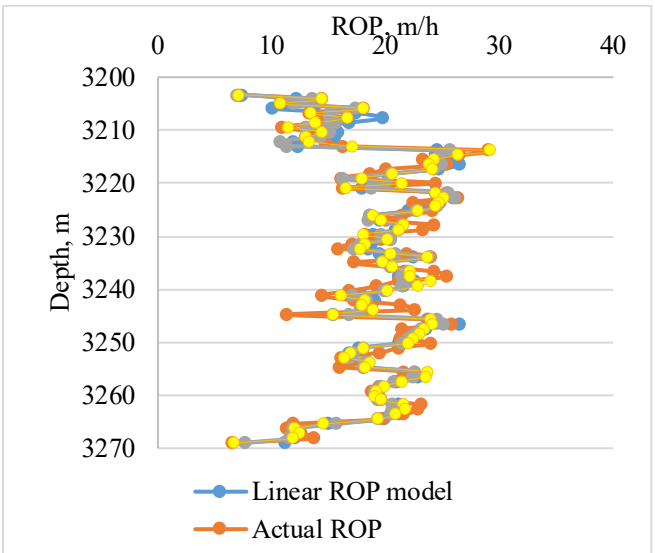


Figure 4. Comparison between the predicted ROP from various models and the actual ROP.

4. Optimization Process

Following the construction of the response surface for the objective function, an additional step was performed to determine the optimal operating point. In this study, Minitab version 16 served as the optimization platform, and the analysis focused exclusively on its numerical optimization feature. The procedure begins with defining goals for both the response variable(s) and the input factors. The available options include Minimize, Maximize, or Target. Minitab applies the desirability function method, originally proposed by Derringer and Suich (1980) and later discussed in Myers and Montgomery (2002), to conduct multi-response optimization. Each response variable y_i is transformed into a scaled desirability value ($0 \leq d_i \leq 1$). These individual desirabilities are combined into an overall desirability index (D) using the geometric mean:

$$D = (d_1 \cdot d_2 \cdots d_m)^{(1/m)}$$

Where D is overall desirability and m is the number of responses.

The desirability function depends on the chosen optimization goal and may be adjusted by a weighting factor (w): $w < 1$ reduces emphasis on meeting the target, $w = 1$ applies a linear function, and $w > 1$ places greater emphasis on the target. "Low" and "High" bounds define acceptable operating ranges. In Minitab v.16, optimization begins from ten randomly generated starting points (modifiable by the user). From each, the algorithm searches in the direction of steepest ascent or descent to maximize D. The analysis identified optimal conditions as follows: weight on bit (2.5 tons), rotational speed (120 rpm), standpipe pressure (180 atm), and mud pump flow rate (47.26 L/s). Under these settings, the maximum penetration rate was 41.2 m/h (Figure 5).

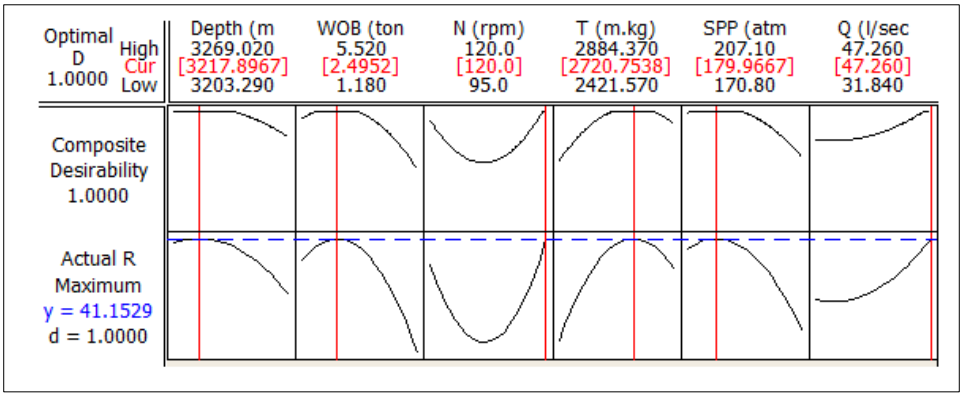


Figure 5. Maximum ROP under the variables condition.

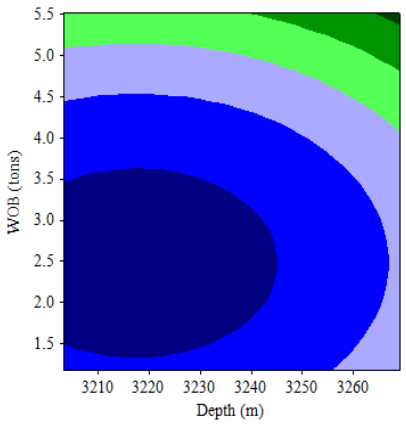


Figure 6. Contour plot of actual ROP (m/h) vs WOB(tons), depth (m)

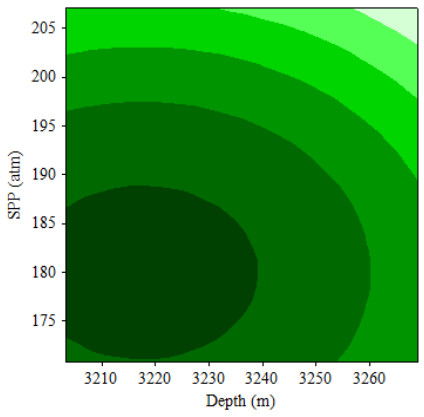


Figure 7. Contour plot of actual ROP (m/h) vs SPP (atm), depth (m)

Conclusions

Through the study of building rate of penetration (ROP) models based on well parameters and drilling parameters using Minitab 16 software, and optimizing drilling parameter settings, the following conclusions are drawn:

- The developed linear combined quadratic ROP model, and full quadratic ROP models exhibit high reliability, with the full quadratic model showing superior predictive capability compared to the linear model. This demonstrates that the well and drilling parameters are comprehensively represented by the linear, quadratic, and interaction terms in the model.
- Optimizing drilling parameters using Minitab 16 is of great significance, as it allows drilling engineers to select appropriate operational parameters for well construction. This contributes to reducing drilling costs and improving well delivery time in the field.

References

Bourgoyne A, Young F (1974). A multiple regression approach to optimal drilling and abnormal pressure detection. Soc Pet Eng J 14(04):371-384.

Bourgoyne AT, Millheim KK, Chenevert ME, Young FS et al (1986). Applied drilling engineering, vol 2. Society of Petroleum Engineers Richardson, TX.

Youcefi MR, Hadjadj A, Bentriou A, Boukredera FS (2020). Rate of penetration modeling using hybridization extreme learning machine and whale optimization algorithm. Earth Sci Inform 13(4):1351-1368.

Edalatkhah S, Rasoul R, Hashemi A (2010). Bit selection optimization using artificial intelligence systems. Pet Sci Technol 28(18):1946-1956.

Maurer W (1962). The perfect-cleaning theory of rotary drilling. J Pet Technol 14(11):1270-1274.

Galle E, Woods H, et al. (1963) Best constant weight and rotary speed for rotary rock bits. In: Drilling and production practice, American Petroleum Institute.

Teale R (1965). The concept of specific energy in rock drilling. International journal of rock mechanics and mining sciences & geomechanics abstracts, Elsevier 2:57-73.

Eckel JR (1967). Microbit studies of the effect of fluid properties and hydraulics on drilling rate. J Pet Technol 19(04):541-546.

Warren T (1987). Penetration rate performance of roller cone bits. SPE Drill Eng 2(01):9-18.

Eren T, Ozbayoglu M (2011) Real-time drilling rate of penetration performance monitoring. In: Offshore mediterranean conference and exhibition, OnePetro.

Al-Betairi EA, Moussa MM, Al-Otaibi S (1988). Multiple regression approach to optimize drilling operations in the arabian gulf area. SPE drill Eng 3(01):83-88.

Hareland G, Rampersad P (1994). Drag-bit model including wear. In: SPE Latin America/Caribbean Petroleum Engineering Conference, OnePetro.

Motahhari HR, Hareland G, James J (2010). Improved drilling efficiency technique using integrated pdm and pdc bit parameters. Journal of Canadian Petroleum Technology 49(10):45-52.

Hareland G, Wu A, Rashidi B, James J (2010). A new drilling rate model for tricone bits and its application to predict rock compressive strength. In: 44th US Rock Mechanics Symposium and 5th US-Canada Rock Mechanics Symposium, OnePetro.

Alum MA, Egbon F (2011). Semi-analytical models on the effect of drilling fluid properties on rate of penetration (rop). In: Nigeria Annual International Conference and Exhibition, OnePetro.

Jahanbakhshi R, Keshavarzi R, Jafarnezhad A (2012). Real-time prediction of rate of penetration during drilling operation in oil and gas wells. In: 46th US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium, OnePetro.

Myers, R.H., Montgomery, D.C., and Anderson-Cook,C. 2008. Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments, 3rd Edition, John Wiley and Sons, New York, pp. 13-135.

Box, G. E. P., & Wilson, K. B. (1951). On the experimental attainment of optimum conditions. Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General), 13, 1-45.

NGHIÊN CỨU QUY TRÌNH XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐỊA CHẤT 3D CHO TẦNG TRẦM TÍCH NÔNG DƯỚI ĐÁY BIỂN ĐỂ PHỤC VỤ PHÁT TRIỂN CÁC TRANG TRẠI ĐIỆN GIÓ NGOÀI KHƠI

Đỗ Duy Khoản[1,2,*], Nguyễn Văn Thịnh[2], Tạ Quốc Dũng[3], Nhữ Việt Hà[2]

[1]Tổng Công ty Thăm dò Khai thác Dầu khí

[2]Trường Đại học Mỏ - Địa chất

[3]Trường Đại học Bách Khoa TP. HCM

**Tác giả liên hệ: Email: khoandd@pvep.com.vn*

Tóm tắt

Xây dựng mô hình địa chất ba chiều (3D) cho các tầng trầm tích nông dưới đáy biển là bước quan trọng trong khảo sát địa kỹ thuật phục vụ phát triển điện gió ngoài khơi. Mô hình này giúp tái hiện cấu trúc và đặc điểm địa chất, cung cấp cơ sở tin cậy để đánh giá điều kiện nền móng và phát hiện các dị thường tiềm ẩn như hố sụt, túi khí hay đới bùn yếu. Thông qua việc tích hợp dữ liệu địa chấn nông, giếng khoan, mẫu lõi và thí nghiệm CPTu, mô hình 3D vừa nâng cao độ chính xác của phân tích địa kỹ thuật công trình biển vừa góp phần tối ưu hóa chi phí và thời gian khảo sát. Đây cũng là nguồn dữ liệu đầu vào quan trọng cho thiết kế nền móng, mô phỏng kỹ thuật và đánh giá rủi ro, từ đó nâng cao hiệu quả đầu tư và đảm bảo phát triển bền vững. Bài báo trình bày phương pháp nghiên cứu và quy trình tích hợp đa nguồn dữ liệu nhằm xác định cấu trúc, đặc điểm thạch học và sự biến đổi không gian của trầm tích nông. Quy trình này kết hợp địa chấn địa tầng với dữ liệu thực địa giúp tái hiện chính xác sự phân bố trầm tích và ranh giới địa chất. Kết quả nghiên cứu khẳng định tích hợp đa nguồn dữ liệu vào mô hình 3D giúp nâng cao độ tin cậy, giảm thiểu rủi ro và hỗ trợ lựa chọn giải pháp nền móng tối ưu, qua đó góp phần giảm chi phí, tăng an toàn và thúc đẩy phát triển bền vững điện gió ngoài khơi.

Từ khóa: Mô hình địa chất 3D; Địa kỹ thuật; Mô hình hóa; Nền móng công trình; Điện gió ngoài khơi.

1. Đặt vấn đề

Việt Nam, với đường bờ biển dài hơn 3.200 km và tiềm năng gió dồi dào, được đánh giá là một trong những quốc gia có lợi thế đặc biệt trong phát triển năng lượng gió ngoài khơi. Tuy nhiên, sự thành công của các dự án điện gió ngoài khơi phụ thuộc không chỉ vào nguồn gió, công nghệ turbine hay điều kiện hải dương, mà còn gắn liền chặt chẽ với hiểu biết đầy đủ và chính xác về điều kiện địa chất - địa kỹ thuật của khu vực triển khai.

Tầng trầm tích nông dưới đáy biển đóng vai trò quyết định đến sự ổn định và tuổi thọ công trình. Đây là môi trường phức tạp, chịu tác động mạnh mẽ của quá trình kiến tạo, xói lở - bồi tụ và động lực trầm tích, nên có thể chứa nhiều dị thường địa chất như hố sụt, đới bùn chảy, túi khí, lớp trầm tích yếu hoặc ranh giới phân lớp phức tạp. Những yếu tố này nếu không được nhận diện và đánh giá chính xác có thể dẫn đến những rủi ro nghiêm trọng trong thiết kế nền móng turbine gió, làm gia tăng chi phí xây dựng, giảm hiệu quả khai thác, thậm chí gây mất an toàn trong quá trình vận hành. Trước đây, công tác khảo sát địa kỹ thuật thường dựa chủ yếu vào dữ liệu giếng khoan, mẫu lõi và thí nghiệm tại chỗ (CPT, CPTu). Mặc dù cung cấp thông tin chi tiết tại từng điểm, các phương pháp này lại mang tính cục bộ và khó phản ánh được tính biến đổi không gian của địa tầng. Trong khi đó, dữ liệu địa chấn nông phân giải cao có thể cho hình ảnh liên tục theo mặt cắt nhưng thường cần được hiệu chỉnh bằng dữ liệu thực địa để tăng độ tin cậy. Do đó, việc tích hợp đa nguồn dữ liệu trong một mô hình thống nhất là yêu cầu tất yếu nhằm đảm bảo tính toàn diện trong phân tích địa kỹ thuật phục vụ phát triển điện gió ngoài khơi.

Mô hình địa chất ba chiều (3D) được xem là công cụ hỗ trợ hữu hiệu để giải quyết thách thức này. Khác với các phương pháp truyền thống, mô hình 3D cho phép kết hợp đồng bộ các loại dữ

liệu khác nhau từ địa chấn, giếng khoan, mẫu lõi đến thí nghiệm CPTU trong cùng một không gian số. Nhờ đó, cấu trúc địa chất, đặc điểm thạch học và sự biến đổi của các tầng trầm tích nông có thể được tái hiện trực quan và chính xác hơn. Mô hình 3D không chỉ hỗ trợ nhận diện ranh giới địa tầng và các dị thường tiềm ẩn mà còn là dữ liệu đầu vào quan trọng cho các bước tiếp theo, bao gồm thiết kế nền móng, phân tích tương tác đất công trình, mô phỏng kỹ thuật và đánh giá rủi ro. Bên cạnh giá trị khoa học, mô hình địa chất 3D còn có ý nghĩa về kinh tế, kỹ thuật rõ rệt. Thứ nhất, nó giúp tối ưu hóa chương trình khảo sát, giảm thiểu số lượng giếng khoan hoặc thí nghiệm cần thiết nhờ tận dụng hiệu quả dữ liệu hiện có; từ đó tiết kiệm chi phí và thời gian. Thứ hai, mô hình tạo cơ sở để đưa ra quyết định chính xác hơn trong lựa chọn vị trí lắp đặt turbine và thiết kế móng, giảm thiểu rủi ro trong thi công và vận hành. Thứ ba, bằng việc trực quan hóa các điều kiện nền móng và nguy cơ địa chất, mô hình 3D giúp nâng cao tính minh bạch, tạo thuận lợi cho quá trình phê duyệt dự án cũng như thu hút đầu tư.

Ở Việt Nam, mặc dù tiềm năng điện gió ngoài khơi rất lớn, nhưng nghiên cứu về mô hình địa chất 3D cho tầng trầm tích nông vẫn còn hạn chế, chủ yếu mới tập trung ở mức độ khảo sát đơn lẻ hoặc phân tích cục bộ. Do vậy, việc phát triển một quy trình tích hợp dữ liệu đa nguồn để xây dựng mô hình địa chất 3D cho khu vực ven biển, đặc biệt tại miền Trung và Nam Bộ, nơi có nhiều dự án điện gió đang được triển khai có ý nghĩa cả về khoa học và thực tiễn.

Xuất phát từ bối cảnh trên, bài báo này nhằm trình bày phương pháp nghiên cứu và đề xuất một quy trình xây dựng mô hình địa chất 3D cho các tầng trầm tích nông dưới đáy biển. Quy trình này tích hợp đồng bộ dữ liệu địa chấn nông phân giải cao, tài liệu địa chất, giếng khoan, mẫu lõi và kết quả thí nghiệm CPTU để xác định cấu trúc, đặc điểm thạch học và sự biến đổi không gian của trầm tích nông. Kết quả mô hình hóa 3D không chỉ góp phần nâng cao độ tin cậy của phân tích địa kỹ thuật mà còn hỗ trợ đánh giá điều kiện nền móng, nhận diện nguy cơ địa chất, lựa chọn giải pháp thiết kế hợp lý, giảm chi phí và tăng cường độ an toàn cho các dự án điện gió ngoài khơi.

Trong những năm gần đây, việc xây dựng mô hình địa chất ba chiều (3D) cho các tầng trầm tích nông dưới đáy biển phục vụ thiết kế móng turbine điện gió ngoài khơi đã được quan tâm nhiều trong các nghiên cứu trong nước và quốc tế. Ở châu Âu, nhiều dự án tại Biển Bắc và Biển Ireland đã phát triển mô hình địa chất 3D tích hợp dữ liệu địa chấn, khoan, CPT(U) và địa vật lý, cho phép phân định chính xác các đơn vị trầm tích, nhận diện các đặc trưng địa chất nguy cơ, từ đó giảm thiểu rủi ro trong thiết kế và thi công móng turbine (Dimmock et al., 2025; Sauvin et al., 2025; Peng et al., 2024). Nghiên cứu tại khu vực Sorlige Nordsjø II (Na Uy) cũng cho thấy việc kết hợp dữ liệu địa chấn 2D/3D với mẫu lõi đã mang lại hiệu quả trong việc xây dựng mô hình khái niệm địa chất phục vụ thiết kế móng turbine (Petrie et al., 2022).

Ở Việt Nam, mặc dù còn hạn chế về số lượng nghiên cứu, một số công trình đã bước đầu áp dụng mô hình địa chất và địa mạo 3D tại khu vực Bình Thuận để nhận diện các đặc trưng như gợn cát, đứt gãy nông và lỗ hổng khí - các yếu tố có thể ảnh hưởng lớn đến ổn định móng turbine và tuyến cáp (Bui et al., 2024; Nguyễn Đình Hải và nnk., 2023). Ngoài ra, nghiên cứu tại khu vực ven biển Bạc Liêu đã sử dụng địa chấn phản xạ nông để phân tích trầm tích Holocene, cung cấp dữ liệu quan trọng cho quy hoạch điện gió gần bờ (Nguyen et al., 2025). Nhìn chung, các kết quả nghiên cứu này khẳng định vai trò then chốt của mô hình địa chất 3D trong việc đánh giá điều kiện nền móng, tối ưu thiết kế và đảm bảo an toàn cho phát triển các trang trại điện gió ngoài khơi.

Khác với công trình trên bờ, tuabin gió ngoài khơi phải đối mặt với tải trọng động phức tạp do gió mạnh, sóng lớn, dòng chảy và bão, cùng với sự ăn mòn khắc nghiệt của môi trường biển, nên nền móng không chỉ cần chịu lực tĩnh mà còn phải chống lại các tác động động học lặp đi lặp lại trong thời gian dài. Lựa chọn loại móng (monopile, jacket, suction bucket, gravity-based hay floating) phụ thuộc trực tiếp vào điều kiện địa chất và độ sâu nước tại vị trí xây dựng, trong đó chi phí nền móng có thể chiếm tới 30-40% tổng chi phí dự án, ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả kinh tế. Một nền móng được thiết kế và thi công tối ưu sẽ giúp công trình vận hành ổn định, kéo dài tuổi thọ 20-30 năm, đồng thời giảm thiểu chi phí bảo trì và rủi ro hỏng hóc, trong khi sự cố nền móng sẽ gây ra tổn thất tài chính nghiêm trọng do việc sửa chữa dưới biển rất phức tạp và tốn kém.

Trong quá trình thiết kế, việc mô hình hóa nền móng đáy biển trở thành bước không thể thiếu nhằm đánh giá khả năng chịu tải của đất, độ ổn định của móng và tương tác đất - kết cấu dưới các điều kiện môi trường khắc nghiệt. Đặc biệt, mô hình địa chất và địa kỹ thuật tích hợp 3D mang lại giá trị vượt trội so với các phương pháp truyền thống. Với khả năng tái hiện chi tiết cấu trúc địa tầng, đặc tính cơ học của từng lớp đất đá, cũng như sự biến thiên theo chiều sâu và mặt bằng, mô hình 3D giúp kỹ sư có cái nhìn toàn diện hơn về điều kiện nền móng thực tế. Tầm quan trọng của mô hình 3D thể hiện ở nhiều khía cạnh như:

- Hỗ trợ lựa chọn loại móng phù hợp (monopile, jacket, suction bucket, hay gravity-based), tùy thuộc vào đặc tính địa chất tại vị trí cụ thể;

Mô hình 3D cho phép xác định kích thước, độ sâu chôn lấp, và các thông số thiết kế tối ưu nhằm đạt được sự cân bằng giữa độ an toàn và chi phí đầu tư;

- Giúp dự báo các nguy cơ tiềm ẩn như lún không đều, trượt hoặc xói lở nền móng dưới tác động của sóng, dòng chảy và gió bão. Ngoài ra, việc sử dụng mô hình còn góp phần giảm thiểu chi phí khảo sát thực địa, nhờ vào khả năng tích hợp và phân tích dữ liệu địa chất, địa vật lý, địa kỹ thuật trong một hệ thống đồng bộ.

Chính vì vậy, nghiên cứu kỹ điều kiện địa chất, lựa chọn giải pháp móng hợp lý và ứng dụng các công cụ mô hình hóa hiện đại, đặc biệt là mô hình địa chất, địa kỹ thuật 3D, là yếu tố then chốt bảo đảm sự thành công và bền vững của các dự án điện gió ngoài khơi. Có thể khẳng định rằng, việc xây dựng mô hình địa kỹ thuật 3D không chỉ đơn thuần phục vụ mục đích phân tích mà còn là công cụ ra quyết định chiến lược trong thiết kế và triển khai dự án điện gió ngoài khơi. Nó giúp nâng cao độ tin cậy của thiết kế, tối ưu hóa chi phí xây dựng, rút ngắn thời gian triển khai và kéo dài tuổi thọ công trình. Trong bối cảnh các dự án điện gió ngoài khơi ngày càng mở rộng về quy mô và dịch chuyển ra các vùng biển sâu hơn, nơi điều kiện môi trường khắc nghiệt hơn, vai trò của mô hình địa chất và địa kỹ thuật 3D càng trở nên quan trọng và mang tính quyết định đến sự thành công của toàn bộ dự án.

Mục tiêu của nghiên cứu này là xây dựng quy trình mô hình địa chất 3D cho các tầng trầm tích nông dưới đáy biển nhằm phục vụ việc phát triển các trang trại điện gió ngoài khơi của Việt Nam.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

Mô hình địa chất 3D là một công cụ số hóa thể hiện cấu trúc không gian ba chiều của các lớp trầm tích và địa tầng dưới đáy biển, đóng vai trò quan trọng trong việc đánh giá điều kiện nền móng, thiết kế hệ thống cáp ngầm và đảm bảo an toàn địa kỹ thuật cho các dự án điện gió ngoài khơi. Cơ sở lý thuyết của quá trình xây dựng mô hình này dựa trên nguyên tắc tích hợp đa nguồn dữ liệu địa chất, địa vật lý và địa kỹ thuật theo phương pháp tiếp cận địa chất, không gian (geospatial-geological integration). Trong đó, dữ liệu địa chấn nông tần số cao (high-resolution seismic), dữ liệu khoan mẫu lõi (borehole/core data), khảo sát địa vật lý đáy biển (sub-bottom profiler, side-scan sonar, multibeam bathymetry) và kết quả thí nghiệm trong phòng/ngoài hiện trường (CPT, SPT, shear test) được xem là nền tảng để xây dựng khung địa tầng (stratigraphic framework) cũng như đặc trưng cơ học của nền đất. Chi tiết được thể hiện như trong *Hình 1.*

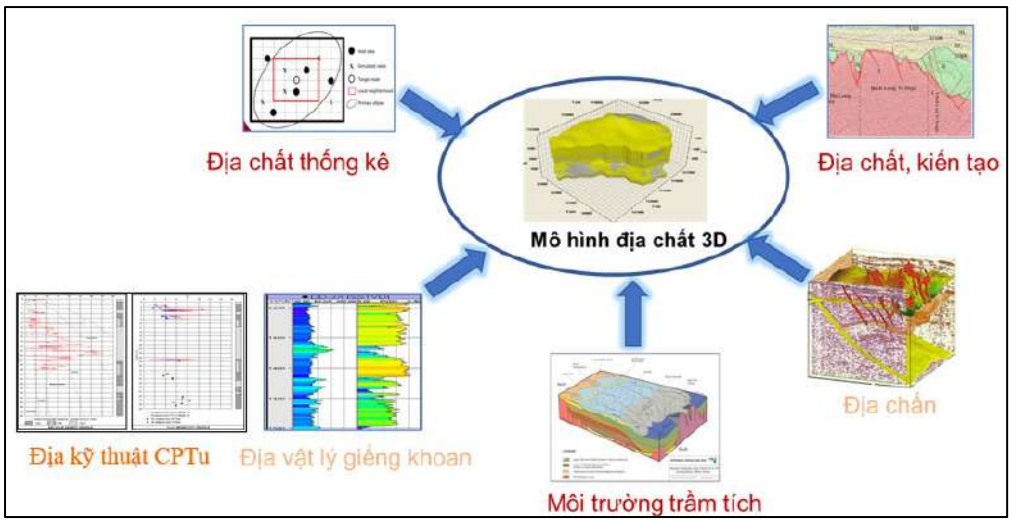
Về phương pháp luận, mô hình địa chất 3D thường được xây dựng thông qua các bước chính:

- *Thu thập và phân tích số liệu đầu vào:* Bao gồm các tài liệu địa chất, kiến tạo, địa chấn, môi trường trầm tích, địa vật lý giếng khoan, địa kỹ thuật, địa thống kê. *Hình 1.*

- *Mô hình hóa cấu trúc (structural modelling):* Bề mặt các ranh giới địa tầng được nội suy từ dữ liệu địa chấn và khoan.

- *Mô hình hóa tính chất (property modelling):* Các tham số địa kỹ thuật và địa vật lý (sức kháng xuyên, độ bền cắt, độ rỗng, vận tốc sóng địa chấn) được phân bố trong không gian 3D bằng các kỹ thuật mô phỏng ngẫu nhiên (stochastic simulation) hoặc đồng biến thiên với dữ liệu địa chấn (co-kriging).

- *Hiệu chỉnh mô hình:* Mô hình được hiệu chỉnh và kiểm định thông qua so sánh với dữ liệu thực đo, nhằm đảm bảo độ tin cậy cho thiết kế kỹ thuật.



Hình 1. Mô hình địa chất 3D và các dữ liệu của mô hình địa chất (Schlumberger, 2020)

Một yếu tố cốt lõi khác trong xây dựng mô hình đó là sự kết hợp giữa địa chất trầm tích học và địa mạo đáy biển. Các mô hình 3D không chỉ phản ánh phân bố thạch học mà còn phải tích hợp các yếu tố địa hình đáy biển (sandwaves, channel fill, gas pockets, buried valleys), vốn ảnh hưởng mạnh đến sự ổn định của móng turbine và tuyến cáp ngầm. Bằng cách sử dụng mô hình địa chất 3D, các nhà thiết kế có thể nhận diện sớm các nguy cơ địa kỹ thuật (geohazards) như khí nông, xói lở cục bộ, vùng đất yếu hay các lớp trầm tích không ổn định, từ đó đề xuất giải pháp tối ưu cho bố trí turbine, neo móng và chôn lấp cáp.

Xét ở góc độ lý thuyết, mô hình địa chất 3D còn được coi là nền tảng cho các phân tích tương tác thủy động lực, địa chất (hydro-geological interaction) và mô phỏng số đa trường (multi-physics simulation). Ví dụ, khi kết hợp mô hình địa chất với mô hình thủy động lực học, có thể đánh giá tác động lâu dài của sóng và dòng chảy đến biến đổi địa hình đáy biển, từ đó dự báo tuổi thọ công trình. Ngoài ra, cũng có thể ứng dụng trí tuệ nhân tạo và học máy (machine learning) để tự động phân loại địa tầng, nhận dạng dị thường và tối ưu hóa mô hình.

Để mô hình hóa cấu trúc có thể sử dụng nhiều phương pháp khác nhau như: Phương pháp Kriging, Inverse Distance Weighting (IDW) hay các kỹ thuật nội suy địa thống kê khác thường được áp dụng để mô tả sự biến thiên không gian của các bề mặt này (Peng et al., 2024; Michel et al., 2025; Wang et al., 2025). Trong số các phương pháp nội suy, kỹ thuật Kriging được lựa chọn do khả năng mô tả chính xác cấu trúc không gian thông qua variogram. Ordinary Kriging, với các mô hình variogram dạng cầu (spherical) hoặc hàm mũ (exponential), được áp dụng để ước lượng giá trị trung bình cũng như sai số nội suy tại từng điểm, đồng thời xét đến tính dị hướng (anisotropy) - yếu tố đặc biệt quan trọng trong các môi trường trầm tích biển vốn chịu tác động mạnh mẽ của dòng chảy và sóng.

Một nội dung không thể thiếu là phân tích rủi ro địa chất liên quan đến móng turbine. Các rủi ro thường gặp bao gồm:

- Xuyên chân đế (punch-through), xảy ra khi tải trọng móng vượt quá sức kháng cắt của lớp đất yếu phía dưới;

- Hóa lỏng (liquefaction), đặc biệt nguy hiểm trong các lớp cát bão hòa khi chịu tác động rung động từ sóng hoặc động đất;

- Khí nông (shallow gas), thường là methane tích tụ trong các lớp trầm tích Holocene, gây nguy cơ cháy nổ;

- Xói mòn móng, do dòng chảy biển liên tục làm biến đổi hình thái đáy biển quanh trụ móng.

Để hiện thực hóa các mô hình trên, nhiều phần mềm chuyên dụng đã được áp dụng với những vai trò bổ trợ lẫn nhau. Cụ thể, Petrel và Kingdom Suite được sử dụng để tích hợp dữ liệu địa vật lý và địa chất, hỗ trợ việc xây dựng mô hình địa chất 3D một cách chính xác và toàn diện. Trong khi đó, GS+ và ArcGIS 3D Analyst đóng vai trò quan trọng trong việc nội suy không gian và trực quan hóa mô hình địa kỹ thuật, giúp thể hiện rõ sự phân bố các đặc trưng cơ lý của nền đất. MATLAB lại là công cụ hỗ trợ mạnh mẽ cho việc hiệu chỉnh variogram, phân tích tính dị hướng và đánh giá sai số của mô hình, đảm bảo cơ sở khoa học vững chắc cho các bước phân tích. Sự kết hợp đồng bộ của các công cụ này không chỉ nâng cao độ tin cậy và tính chính xác của mô hình mà còn góp phần quan trọng trong việc tối ưu thiết kế, giảm thiểu rủi ro và triển khai hiệu quả các dự án điện gió ngoài khơi.

3. Quy trình xây dựng mô hình địa chất 3D cho các tầng trầm tích nông

Trong phát triển các trang trại điện gió ngoài khơi, việc hiểu biết chính xác về cấu trúc địa chất và điều kiện nền móng dưới đáy biển là yếu tố quyết định cho thiết kế móng, định vị cáp ngầm và đảm bảo an toàn thi công. Các tầng trầm tích nông dưới đáy biển thường có sự biến thiên không gian phức tạp, chứa các dị thường địa chất như hố sụt, túi khí hay vùng bùn yếu, do đó việc khảo sát truyền thống hai chiều hoặc dựa vào từng điểm khoan đơn lẻ khó phản ánh toàn diện. Việc ứng dụng mô hình địa chất 3D có thể giải quyết hạn chế này, bằng cách tích hợp đa nguồn dữ liệu địa chất, địa vật lý và địa kỹ thuật để tạo ra một mô hình tổng thể, trực quan hóa sự phân bố không gian của các tầng trầm tích và đặc tính cơ lý của chúng. Mô hình 3D không chỉ là công cụ hình học mà còn là cơ sở dữ liệu đầu vào cho các phân tích kỹ thuật tiếp theo, như thiết kế nền móng, mô phỏng tương tác thủy động lực - địa chất, đánh giá rủi ro và lập kế hoạch thi công. Để xây dựng mô hình này một cách hệ thống, quy trình thường được triển khai theo các bước cụ thể sau:

Bước 1: Thu thập và chuẩn hóa dữ liệu

Tiến hành thu thập và chuẩn hóa dữ liệu (desktop study) từ các nguồn công khai (WB/ETP, ENS, RVO), kết quả ESIA/khảo sát đã công bố, bản đồ và ảnh vệ tinh, sau đó chuẩn hóa hệ tọa độ (CRS) và kiểm soát chất lượng metadata. Dữ liệu đầu vào là nền tảng của mô hình 3D, bao gồm:

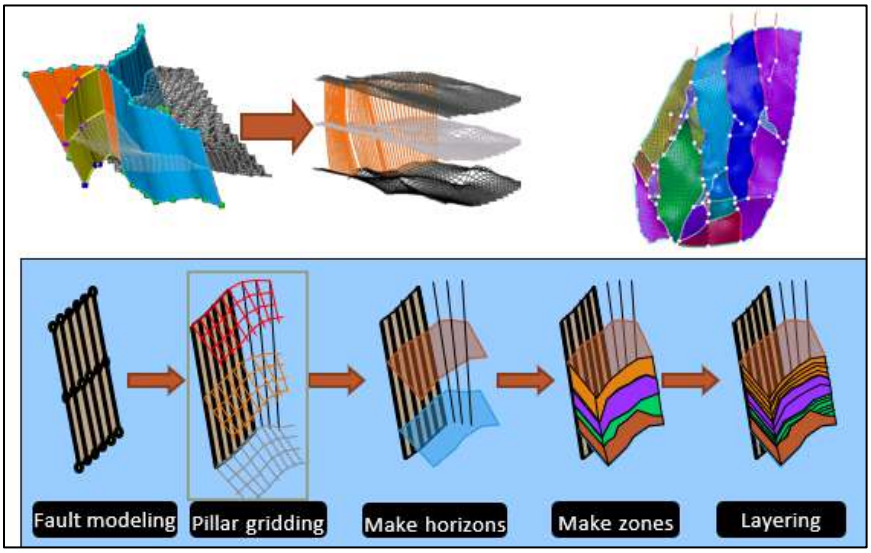
Dữ liệu địa chấn nông (high-resolution seismic) trong đó thiết kế tuyến MBES, SSS, SBP/UHR phủ dày toàn khu vực dự kiến bố trí tuabin, trạm và cáp, đồng thời bố trí CPTu và vibrocore theo lưới-transect đồng nhất để hiệu chỉnh dữ liệu địa vật lý và xác định cấu trúc địa tầng và ranh giới các lớp trầm tích.

Dữ liệu khảo sát địa vật lý giếng khoan- địa kỹ thuật tích hợp. Dữ liệu khảo sát địa kỹ thuật tại chỗ (CPT, SPT, shear test) để xác định các tham số cơ lý quan trọng. Dữ liệu này được chuẩn hóa, kiểm tra chất lượng và loại bỏ các điểm bất thường trước khi sử dụng.

Kết quả minh giải địa tầng nông, bao gồm việc pick các horizons (mặt xâm thực, rãnh cổ, ranh giới facies) từ SBP/UHR, kết hợp dữ liệu lõi khoan và CPTu (u2) để nhận diện các tầng á sét bão hòa hoặc khí nông. Kết quả nghiên cứu môi trường địa chất, môi trường thành tạo các tầng trầm tích nông khu vực nghiên cứu từ tài liệu địa chấn, tài liệu giếng khoan và mẫu lõi.

Bước 2: Xây dựng mô hình cấu trúc

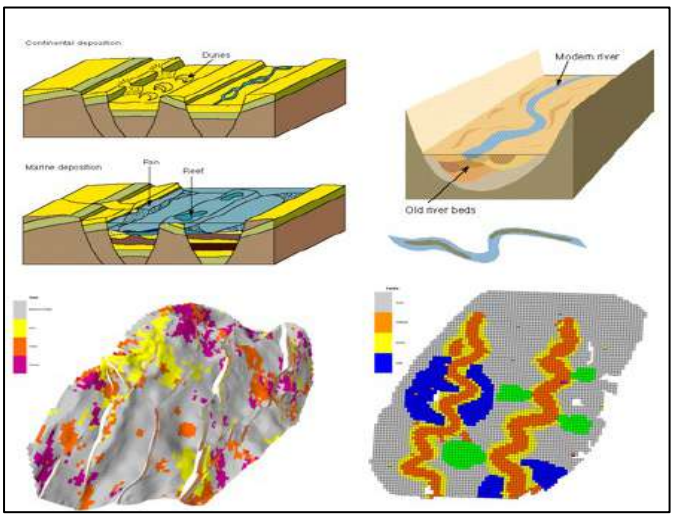
Xây dựng mô hình cấu trúc các ô lưới mô phỏng cấu trúc địa chất, các đứt gãy, tầng trầm tích của khu vực nghiên cứu. Kích cỡ ô lưới phù hợp với các tướng địa chất thực tế khai thác (hình dáng, góc nghiêng, số lượng ô lưới đều ảnh hưởng đến kết quả mô phỏng *(Hình 2)*.



Hình 2. Các bước xây dựng mô hình cấu trúc (Schlumberger, 2020)

Bước 3: Xây dựng mô hình tướng

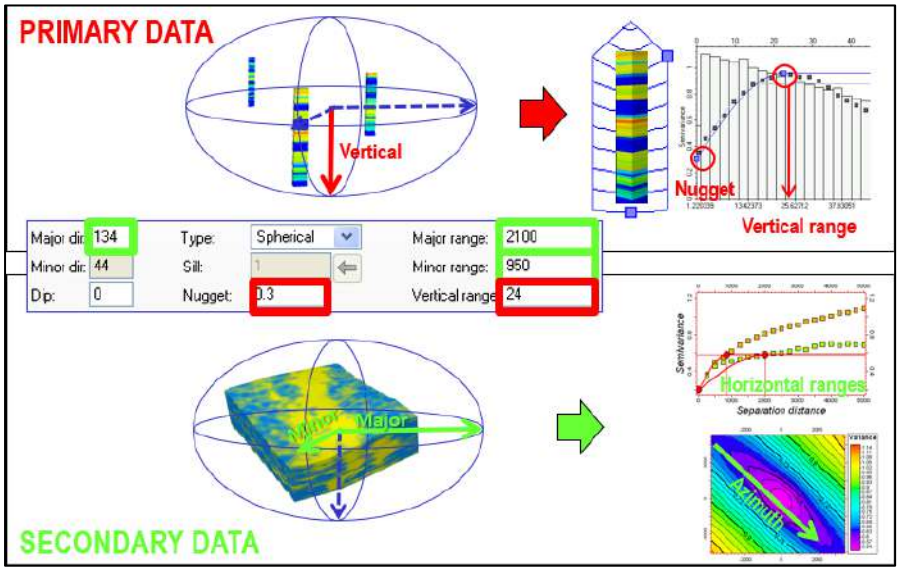
Mô phỏng cấu trúc các tướng: Các đơn vị địa chất, tướng đất đá, khả năng liên kết và mức độ bất đồng nhất của các tầng trầm tích. Công nghệ mô phỏng dùng phương pháp xác định-Deterministic khi có nhiều thông số đầu vào như nhiều giếng khoan, địa chấn, địa chất) hoặc ngẫu nhiên-Stochastic khi có ít dữ liệu đầu vào (*Hình 3)*.



Hình 3. Mô hình tướng (Schlumberger, 2020)

Bước 4: Xây dựng mô hình tính chất

Các bề mặt ranh giới địa tầng được dựng từ dữ liệu khoan và địa chấn bằng các phương pháp nội suy địa thống kê (Dubrule, 1984) như Kriging hoặc Inverse Distance Weighting (IDW). Quá trình này mô phỏng chính xác biến thiên không gian của các lớp trầm tích, đặc tính của đất đá, các tính chất địa chất, địa kỹ thuật và giúp nhận diện các dị thường tiềm ẩn như hố sụt, túi khí hay đới bùn yếu (*Hình 4*).



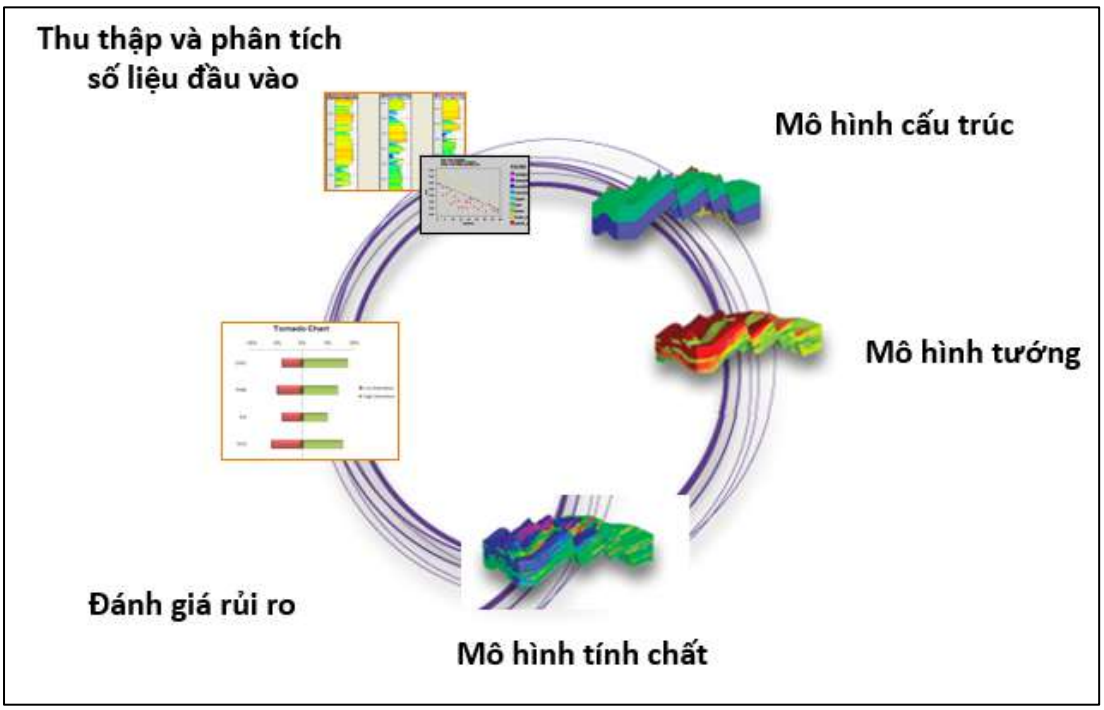
Hình 4. Mô hình hóa thuộc tính bằng phương pháp địa thống kê và Kriging (Schlumberger, 2020)

Bước 5: Đánh giá rủi ro, hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

Đánh giá các mối nguy địa chất (geohazards) và ràng buộc thiết kế, trong đó lập bản đồ và mô hình khối thể hiện cát di động/dune field, boulder hoặc di tích đá, khí nông/shallow gas và pockmark, rãnh cổ hoặc bồi tích kênh, cũng như các đối tượng UXO, trên cơ sở hướng dẫn CIRIA/OSIG. Từ đó, phân cấp khu vực thành No-go, Caution và Suitable để phục vụ thiết kế móng trụ tuabin và bố trí tuyến cáp ngầm một cách an toàn, tin cậy và tối ưu.

Mô hình 3D được hiệu chỉnh dựa trên dữ liệu bổ sung, quan sát thực địa và các thử nghiệm bổ sung nếu cần. Việc kiểm định đảm bảo tính nhất quán của mô hình với điều kiện thực tế và tăng độ tin cậy cho các phân tích kỹ thuật tiếp theo.

Chi tiết quy Quy trình xây dựng mô hình địa chất 3D cho các tầng trầm tích nông được thể hiện như trong *Hình 5*.



Hình 5. Quy trình xây dựng mô hình địa chất 3D cho các tầng trầm tích nông (Schlumberger, 2020)

4. Kết quả và thảo luận

Mô hình địa chất 3D cuối cùng được sử dụng để đánh giá điều kiện nền móng và lựa chọn vị trí móng turbine tối ưu. Ngoài ra, mô hình còn được dùng để phân tích rủi ro địa chất, xác định các khu vực có nguy cơ bất lợi. Và một phần rất quan trọng là mô hình được dùng để hỗ trợ thiết kế kỹ thuật, lập kế hoạch thi công và định vị tuyến cáp ngầm. Qua các phân tích ở trên có thể thấy, mô hình địa chất 3D được thiết kế để đảm bảo hai mục tiêu quan trọng:

Thứ nhất, mô hình phải phản ánh chính xác cấu trúc địa chất dưới đáy biển, bao gồm các tầng trầm tích nông, các ranh giới địa tầng, sự phân bố thạch học và các dị thường tiềm ẩn như hố sụt, túi khí hay các lớp bùn yếu. Việc sử dụng dữ liệu địa chấn nông phân giải cao kết hợp với thông tin khoan giếng, mẫu lõi và thí nghiệm CPTU cho phép tái hiện sự biến thiên không gian của các lớp trầm tích với độ chi tiết cao, đồng thời mô phỏng cấu trúc 3D theo thực tế địa chất.

Thứ hai, mô hình 3D còn cung cấp dữ liệu cơ sở đáng tin cậy cho các quyết định kỹ thuật trong thiết kế và phát triển trang trại điện gió ngoài khơi. Cụ thể, các tham số địa kỹ thuật được nội suy và gán vào mô hình ba chiều giúp đánh giá khả năng chịu tải của nền móng, xác định vị trí tối ưu cho các turbine và định hướng tuyến cáp ngầm. Mô hình này cũng hỗ trợ phân tích rủi ro địa chất, dự báo những vùng có nguy cơ bất lợi và lập kế hoạch thi công hiệu quả.

Nhờ sự kết hợp giữa mô hình hóa địa chất chi tiết và dữ liệu kỹ thuật thực địa, quy trình này tạo ra mối liên kết vững chắc giữa khảo sát địa chất và thiết kế kỹ thuật, đảm bảo các quyết định xây dựng được thực hiện trên cơ sở khoa học, giảm thiểu rủi ro, tối ưu hóa chi phí và nâng cao hiệu quả đầu tư. Đồng thời, mô hình 3D còn hỗ trợ việc mô phỏng tương tác thủy động lực - địa chất và các phân tích đa trường (multi-physics), góp phần đảm bảo tính bền vững và an toàn lâu dài cho các trang trại điện gió ngoài khơi.

5. Kết luận

Sự phát triển thành công của các trang trại điện gió ngoài khơi phụ thuộc quyết định vào mức độ hiểu biết chi tiết về cấu trúc địa chất và điều kiện nền móng đáy biển. Các tầng trầm tích nông thường thể hiện sự biến đổi không gian phức tạp và tiềm ẩn nhiều dị thường địa chất như hố sụt, túi khí hoặc lớp bùn yếu… Đây là những yếu tố có thể ảnh hưởng nghiêm trọng đến thiết kế móng, bố trí tuyến cáp ngầm và an toàn thi công.

Kết quả nghiênc ứu đã khẳng định, mô hình địa chất 3D là công cụ cốt lõi để giải quyết các thách thức trên. Thông qua việc tích hợp đa dạng nguồn dữ liệu bao gồm địa chấn nông, giếng khoan, mẫu lõi và thí nghiệm địa kỹ thuật, mô hình 3D cho phép tái hiện một cách trực quan và chính xác cấu trúc trầm tích dưới đáy biển. Không chỉ phản ánh biến thiên không gian chi tiết, mô hình còn tạo lập cơ sở dữ liệu tin cậy cho các quyết định kỹ thuật quan trọng, từ đánh giá khả năng chịu tải nền móng, lựa chọn vị trí tối ưu đặt turbine, đến dự báo các khu vực rủi ro địa chất.

Việc nội suy, kết hợp với các tham số cơ lý, thạch học cho từng thể tích trong không gian ba chiều giúp xây dựng các kịch bản kỹ thuật toàn diện, khắc phục hạn chế của phương pháp khảo sát truyền thống vốn dựa chủ yếu vào dữ liệu 2D hoặc số liệu giếng khoan đơn lẻ. Quan trọng hơn, mô hình địa chất 3D còn đóng vai trò nền tảng để triển khai các phân tích đa trường (multi-physics) và mô phỏng phức hợp, bao gồm tương tác thủy động lực, địa chất, tác động của sóng, dòng chảy và tải trọng turbine lên hệ nền móng.

Cách tiếp cận này không chỉ nâng cao độ tin cậy trong thiết kế, giảm thiểu sai số và rủi ro kỹ thuật, mà còn tối ưu hóa chi phí đầu tư và tiến độ thi công. Nhờ vậy, mô hình 3D mang lại một nền tảng khoa học, kỹ thuật vững chắc, bảo đảm cho quá trình phát triển trang trại điện gió ngoài khơi đạt được các mục tiêu an toàn, hiệu quả và bền vững lâu dài.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ tài chính từ Trung tâm học bổng Danida Fellowship Center (DFC), Đan Mạch trong dự án "De-risking Vietnamese Offshore Wind Farm Development by Using Onsite Seabed Conditions and Optimizing Locations through Marine Spatial Planning (DV-WIND)."

Tài liệu tham khảo

Nguyễn Đình Hải, Nguyễn Gia Trọng, Cao Hoàng Trưởng, Phạm Ngọc Quang, 2023. Phương pháp trực quan hóa mô hình 3D địa hình đáy biển từ dữ liệu đo sâu hồi âm đa tia và dữ liệu thủy âm quét sườn. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn,* 753, pp 50-59.

Bui, V. D., Pham, P. Q., Doan, H. H., & Do, V. C, 2024. Seabed morphological characterization and shallow geohazards at offshore Binh Thuan wind farm sites, southern Vietnam shelf. *Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development, 8 pages*.

Dimmock, P. S., Sharma, S., Tam, T., Tapper, L., Vanneste, M., Klinkvort, R. T., Forsberg, C. F., Kort, D. A., Griffiths, L., Bozorgzadeh, N., King, T. A., Hill, A. W, 2025. A ground modelling framework for offshore wind farm developments. *Proceedings of the 5th ISFOG 2025*.

Michel, G., Coughlan, M., Stanca, R., Narożny, P., Trindade, L., & Joseph, T, 2025. A review of benefits and pitfalls for prediction of geotechnical parameters in offshore wind ground models using synthetic CPTs. Proceedings of ISFOG 2025, pp 1-9.

Nguyen, Q.D; Le, A.V.C; Nguyen, V.T; Huynh, V.T. 2025. Researching Holocene Sediments at Bac Lieu Offshore, Vietnam with Insights from Near-Surface 2D Reflection Seismic Data. *Geosciences 2025*, 15, 107, pp 1-17. https://doi.org/10.3390/geosciences15030107

Dubrule, O, 1984. Geostatistics in petroleum geology. *AAPG Bulletin*, vol. 68, no. 12, pp. 1587-1596

Peng, X., Gao, Y., Du, Y., Wang, D., Li, P., Li, X., & Zhang, Y, 2024. Development of a 3D Ground Model for an Offshore Wind Farm with Complex Interlayering of Silty Soils. *Proceedings of the 7th International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterization (ISC7-24)*.

Petrie, H. E., Eide, C. H., Haflidason, H., & Watton, T. (2022). Geological conditions for offshore wind turbine foundations at the Sørlige Nordsjø II site, Norwegian North Sea. *EAGE GET 2022*.

Sauvin, G., Vanneste, M., Vardy, M. E., Klinkvort, R. T., Forsberg, C. F, 2019. Machine learning and quantitative ground models for improving offshore wind site characterisation. *Conference proceedings OTC*.

Schlumberger, 2020. Petrel E&P Software Platform - Technical Overview. Houston

Wang, L., Zhang, X., Hong, Y; Xiao, T., Cao.Z., Li, S., Wu, S, 2025. Efficient 3D geological modeling for offshore wind farm with sparse CPTU and borehole data. Canadian Geotechnical Journal, 62, pp 1-23.

Research on building a 3d geological model of shallow sub-seabed sedimentary layers for the development of offshore wind farms

Do Duy Khoan[1,2,*], Nguyen Van Thinh[2], Ta Quoc Dung[3], Nhu Viet Ha[2]
[1]PetroVietnam Exploration and Production Co-operation (PVEP)
[2]Hanoi University of Mining and Geology (HUMG)
[3]Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT)
[*]Corresponding author: Email: khoandd@pvep.com.vn

Abstract

Building the three-dimensional (3D) geological models for shallow subsea sediments is a critical step in geotechnical site investigations for offshore wind farm development. Such models enable the reconstruction of subsurface structures and geological features, providing a reliable basis for assessing foundation conditions and detecting potential anomalies such as sinkholes, shallow gas pockets, or weak clay layers. By integrating high-resolution seismic data, borehole logs, core samples, and CPTU tests, 3D models not only enhance the accuracy of offshore

geotechnical analyses but also contribute to optimizing survey cost and time. Furthermore, they serve as essential input for foundation design, engineering simulations, and risk assessments, thereby improving investment efficiency and ensuring sustainable development. This paper presents the methodology and workflow for multi-source data integration to characterize the structural framework, lithological features, and spatial variability of shallow marine sediments. The workflow combines stratigraphic seismic interpretation with ground-truth data to accurately reconstruct sediment distribution and stratigraphic boundaries. The results demonstrate that multi-source data integration into 3D models significantly increases reliability, mitigates geohazards, and supports the selection of optimal foundation solutions, ultimately reducing costs, enhancing safety, and promoting the sustainable growth of offshore wind energy.

Keywords: 3D Geological Modelling, Marine Geotechnics; Foundation Engineering, Subsurface Characterization, Geohazard Assessment, Offhore Wind Farm.

DỰ BÁO NGUY CƠ SINH CÁT TRONG TẦNG CHỨA CỐ KẾT YẾU TẠI LÔ 01&02, BỒN TRŨNG CỬU LONG

Phạm Quý Ngọc[1], Nguyễn Văn Thuận[1], Phạm Xuân Toàn[2], Nguyễn Minh Quý[1]

[1]Viện Dầu khí Việt Nam

[2]Hội Công nghệ Khoan - Khai thác

**Tác giả liên hệ: Email: ngocpq@vpi.pvn.vn*

Tóm tắt

Hiện tượng sinh cát trong quá trình khai thác dầu khí là một trong những vấn đề phức tạp ảnh hưởng trầm trọng đến lưu lượng, cũng như tổn thất nặng nề cho các thiết bị lòng giếng và bề mặt, đặc biệt trong các tầng chứa gắn kết yếu, địa chất phức tạp, hậu quả dẫn đến việc mất thời gian và chi phí để khắc phục thậm chí hủy giếng. Vì thế, việc dự báo chính xác khả năng sinh cát trong các vỉa dầu khí sẽ hỗ trợ tốt nhất cho các bước lựa chọn thiết bị hoàn thiện giếng và chế độ khai thác phù hợp cũng như giúp tối ưu hóa các chi phí đầu tư. Bài báo đưa ra các chỉ số sinh cát gồm: (i) Sóng âm, (ii) Chỉ số sinh cát - BI, (iii) Chỉ số sinh cát Schlumberger - SR, (iv) Mô đun đàn hồi tổ hợp - Ec và độ bền nén đơn trục - UCS để đánh giá khả năng sinh cát dựa trên các đường địa vật lý giếng khoan cơ bản (Gamma, sóng âm và mật độ) và các thông số địa cơ học (UCS, Young modulus, Shear modulus, Bulk modulus, và Poisson Ratio). Các chỉ số này được tính toán liên tục theo chiều sâu cho một giếng khoan nghiên cứu và năm thân cát đã được xác định. Kết quả cho thấy sự phù hợp giữa tất cả các chỉ số, xác định thân cát đều có độ bền cơ học yếu và có nguy cơ sinh cát cao. Giá trị của các thông số thấp hơn ngưỡng tới hạn (Sonic = 93 us/ft, B = 20,000 MPa, Ec = 26,080 MPa, S/I = 1.24×10^8 MPa và UCS = 27.58 MPa). Dựa trên các kết quả phân tích này, các biện pháp kiểm soát cát được khuyến nghị để đảm bảo khai thác an toàn cho các tầng sản phẩm có đặc tính địa cơ học của đất đá khác nhau thuộc Miocen, bể Cửu long. Kết quả này có thể áp dụng cho các khu vực lân cận có cùng đặc tính địa chất.

Từ khóa: Dự báo sinh cát; địa vật lý giếng khoan; địa cơ học, thành hệ cố kết yếu.

1. Giới thiệu

Vấn đề sinh cát trong quá trình khái thác dầu khí là một trong những vấn đề phức tạp nghiêm trọng trong ngành công nghiệp dầu khí trên thế giới và cả Việt Nam. Hiện tượng này xảy ra khi các hạt cát từ thành hệ bị cuốn theo dòng chảy của chất lưu trong quá trình khai thác, gây ra hàng loạt hậu quả tiêu cực bao gồm: (i) suy giảm lưu lượng khai thác do tắc nghẽn đường ống và thiết bị; (ii) hư hỏng các thiết bị lòng giếng và bề mặt do ăn mòn; (iii) tăng chi phí cho việc sửa giếng và bảo dưỡng; và (iv) trong trường hợp nghiêm trọng có thể dẫn đến việc phải hủy bỏ giếng khoan. Theo ước tính của các nghiên cứu gần đây, thiệt hại kinh tế do sinh cát gây ra cho ngành công nghiệp dầu khí có thể lên đến hàng triệu USD mỗi năm cho mỗi giếng khai thác. Trong mấy thập kỷ qua, vấn đề dự báo và kiểm soát sinh cát đã thu hút sự quan tâm đáng kể từ cộng đồng khoa học quốc tế. Các nghiên cứu tập trung vào phương pháp luận và mô hình cơ bản, nghiên cứu ứng dụng địa vật lý giếng khoan. Các tác giả như Ajayi nnk., 2022; Dong nnk., 2013; Khamehchi và Reisi, 2015; Lawson-Jack nnk., 2019; Ubuara nnk., 2024 đã tận dụng các đường cong địa vật lý giếng khoan để xác định các thông số địa cơ học như độ bền của đá, mô đun đàn hồi, mô đun khối, mô đun cắt, từ đó đưa ra các chỉ số và tiêu chuẩn để đánh giá các vị trí sinh cát của thành hệ và đã áp dụng thành công ở các mỏ Ebendo - Nigeria, mỏ Kexia - Trung Quốc.

Một số tác giả khác đã đưa ra nhiều mô hình dự báo sinh cát dựa trên tài liệu hiện trường, trong quá trình khoan, thí nghiệm mẫu (Asadi nnk., 2015; Bradford nnk., 2007; Rahman nnk., 2008; Willson nnk., 2002). Dựa vào các dữ liệu đó, các tác giả đã xây dựng mô hình địa cơ học cho các vỉa trầm tích năm trong các khu vực đứt gãy thuận và áp dụng vào dự báo sinh cát theo mô hình giải tích và được hiệu chỉnh với các kết quả thử vỉa DST. Kết quả chỉ ra các khoảng sinh cát theo giai đoạn sụt giảm áp suất trong vòng đời của mỏ.

Trong bối cảnh Việt Nam, các nghiên cứu về dự báo sinh cát cũng bắt đầu triển khai từ những năm 2000 (Hoàng nnk., 2016; Tạ nnk., 2019; Tạ Quốc Dũng và Hoàng Thanh Tùng, 2017; Tạ Quốc Dũng và Hoàng Trọng Quang, 2003) tại bể Cửu Long và Nam Côn Sơn. Các nghiên cứu đã dựa trên các đặc tính và cơ chế phá hủy của thành hệ để đánh giá khả năng sinh cát và áp suất suy giảm tới hạn của các tầng cố kết yếu trong bể Cửu Long và tại các vùng nhiệt độ cao áp suất cao trong bể Nam Côn Sơn. Kết quả của các mô hình đã đưa ra bức tranh cho quá trình khai thác và hoàn thiện giếng trong điều kiện tương ứng.

Tuy nhiên, việc sử dụng các phương pháp này tốn nhiều thời gian và chí phí, thậm chí nhiều khu vực hạn chế số lượng mẫu và kích thước mẫu để hiệu chỉnh mô hình và tính đại diện cho khu vực. Hơn thế nữa, một số yếu tố khác dẫn đến kết quả mô hình chưa phù hợp như công tác lấy mẫu và bảo quản chưa tốt, khác biệt điều kiện vỉa và trong phòng thí nghiệm cũng như hạn chế các thiết bị thí nghiệm. Trong khi đó, các đường đo địa vật lý giếng khoan (ĐVLGK) cơ bản như Gamma Ray, Sóng âm (DTCO, DTSM), mật độ (RHOB) thì hầu như các giếng nào cũng được thu thập và tính đại diện thành hệ khá cao.

Việc xác định tính chất cơ học và khả năng sinh cát là yếu tố cơ bản để quyết định rằng có cần sử dụng thiết bị kiểm soát cát hay không và nếu dùng thì loại thiết bị nào phù hợp nhất cho việc đó. Vì việc sinh cát của thành hệ trong quá trình khai thác phụ thuộc vào tính chất cơ học của thành hệ, trường ứng suất tác động lên thành hệ và hướng bắn mở vỉa cũng như sự sụt giảm áp suất vỉa trong quá trình khai thác. Ngoài ra, sau thời gian khai thác thành hệ cũng trở nên yếu dần đi vì ảnh hưởng của chất lưu vào giếng và sự suy giảm áp suất vỉa. Nếu không có phương án thiết kế phù hợp trong giai đoạn hoàn thiện giếng sẽ dẫn đến tốn nhiều chi phí và thời cho việc thay thế thiết bị lòng giếng, tệ hơn là hủy giếng.

Bài báo này trình bày tóm tắt một số nghiên cứu việc tận dụng các đường ĐVLGK để xác định các thông số địa cơ học như hệ số Poisson, mô đun cắt, mô đun khối, độ bền của đá. Dựa vào các thông số đó, cùng với một số phương pháp khác như (i) phương pháp sóng dọc, (ii) phương pháp chỉ số sinh cát (B), (iii) phương pháp chỉ số sinh cát Schlumberger (SR), (iv) phương pháp kết hợp mô đun (E_c) và (v) phương pháp UCS mà các tác giả (Ajayi nnk., 2022; Dong nnk., 2013; Osaki nnk., 2019; Ubuara nnk., 2024) đã thực hiện thành công dự báo sinh cát nhiều khu vực nghiên cứu khác nhau trên thế giới. Trong đó, thành hệ có khả năng sinh cát cao và cần phải thực hiện các công tác kiểm soát ngay từ lúc hoàn thiện giếng khi các chỉ số BI, SR, Ec và UCS lần lượt thấp hơn giá trị ngưỡng là 20000 MPa, 26080 MPa, 1.24×10^8 MPa và 27.58 MPa, trong khi đó DTCO lớn hơn ~95 us/ft. Kết quả của nghiên cứu này sẽ đưa ra một cách tiếp cận khác hay một góc nhìn khác trong dự báo sinh cát. Và có thể làm tăng độ tin cậy mô hình dư báo sinh cát và công tác kiểm soát cát của khu vực nghiên cứu cũng như các khu vực lân cận.

Khu vực nghiên cứu trong phạm vi Lô 01&02 của bể Cửu Long, trên thềm lục địa phía Nam của Việt Nam (Hình 1a). Đây là khu vực trải qua các thời kỳ tách giãn, nén ép mạnh mẽ và sụt lún nhiệt của bể Cửu Long tạo thành các đặc trưng cấu trúc địa chất và thạch học phức tạp ứng với các tướng địa chất và môi trường trầm tích đa dạng. Ngoài ra, các mỏ dầu khí trong khu vực này chủ yếu khai thác trong tầng Miocen, nơi các vỉa chứa được đánh giá cố kết yếu với thành phần chủ yếu là cát sét xen kẹp. Vì vậy, vấn đề sinh cát xảy ra trong quá trình khai thác tại khu vực này là rất lớn. Dựa vào cột địa tầng khu vực nghiên cứu (Hình 1b) được thể hiện rõ theo thời gian địa chất, từ Mesozoic (Jura - Kreta) đến Kainozoi (Paleogen, Neogen, Đệ Tứ), đặc điểm các tầng địa

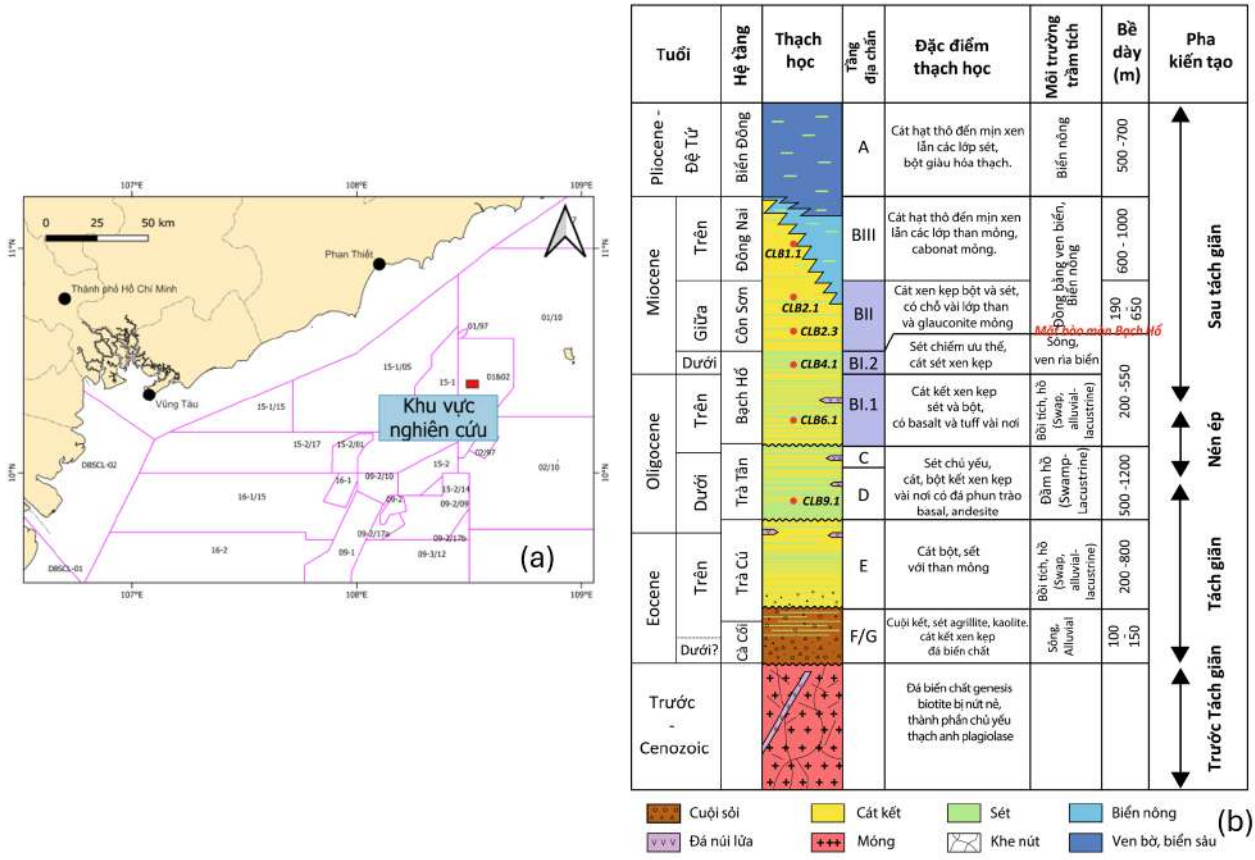
chất được trình bày như sau:

- **Mesozoic**: Chủ yếu là đá granite và granodiorite, có độ sâu lớn hơn 3500m, cấu tạo cứng chắc và ít khả năng sinh cát.
- **Kainozoi**:

Paleogen (Eocen, Oligocen): Bao gồm hệ tầng Cà Cối, Trà Cú và Trà Tân với độ sâu từ 1500-3500m. Thành phần gồm cuội, sạn, cát kết, chuyển tiếp lên trên là sét kết xen kẹp cát kết và sét than. Các trầm tích này có tiềm năng gây sinh cát do đặc tính cố kết chưa chặt chẽ, nhất là trong các lớp cát kết bở rời xen kẹp.

Neogen (Miocen): Hệ tầng Dừa, Thông-Mãng Cầu, Nam Côn Sơn và Đồng Nai với độ sâu dao động từ 500-1800m. Các hệ tầng này chủ yếu là cát kết, bột kết xen sét kết, trong đó phần trên đặc biệt chứa các lớp cát bở rời, cố kết yếu. Đây chính là các đối tượng chính trong nghiên cứu khả năng sinh cát.

Đệ Tứ (Pleistocen, Holocen): Hệ tầng Biển Đông và các trầm tích không phân chia rõ thuộc thời kỳ Đệ Tứ, với độ dày khoảng 300-500m. Thành phần chủ yếu là cát bở rời màu xám xanh và bùn sét, lớp bề mặt kém cố kết, cũng tiềm ẩn khả năng sinh cát trong quá trình khai thác.



Hình 1. (a) Vị trí khu vực nghiên cứu và (b) đặc điểm địa tầng khu vực nghiên cứu

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1 Xác định các thông số địa cơ học

Để dự báo khả năng sinh cát trước tiên cần phải hiểu rõ các tính chất cơ học của đá. Các thông số địa cơ học được xác định dựa trên các đường cong địa vật lý giếng khoan như Gamma

ray (GR), thời khoảng truyền sóng dọc (DTC - us/ft), thời khoảng truyền sóng ngang (DTS - us/ft) hay vận tốc sóng dọc (V_p - km/s) và vận tốc sóng ngang (V_s - km/s) và mật độ (ρ_b - kg/m^3). Trong đó, Các thông số địa cơ học bao gồm: Hệ số Poisson (v), Mô đun cắt (G - MPa), Mô đun khối (K_b - MPa), mô đun đàn hồi (E - MPa) và độ bền đất đá (UCS - MPa) được xác định thông qua công thức (1) - (5).

2.1.1 Hệ số Poisson (v)

Hệ số Poisson là tỉ số giữa độ biến dạng hông (độ co, biến dạng co) tương đối và biến dạng dọc trục tương đối (theo phương tác dụng lực) hay là chỉ số đo sự biến dạng hình dạng của vỉa khi ứng suất tại chỗ tác động vào. Nó được tính dựa trên đường vận tốc sóng dọc (V_p) và vận tốc sóng ngang (V_s) thông qua công thức (1):

$$v = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2\left(V_p^2 - V_s^2\right)} = \frac{DTS^2 - 2DTC^2}{2\left(DTS^2 - DTC^2\right)} \quad (1)$$

2.1.2 Mô đun cắt (G)

Mô đun cắt là tỉ số giữa ứng suất cắt (ứng suất cắt) và biến dạng cắt (shear strain), được xác định dựa trên mối quan hệ giữa mật độ (ρ_b) và vận tốc sóng ngang (V_s) được thông qua công thức:

$$G_{dyn}\left(MPa\right) = \rho_b . V_s^2 \quad (2)$$

2.1.3 Mô đun khối (K_b)

Mô đun khối là chỉ số thể hiện khả năng kháng lại độ nén của đá và thay đổi thể tích của đá chứa. Nó được xác định thông qua công thức (3):

$$K_{b_dyn}\left(MPa\right) = \rho_b \left(V_p^2 - \frac{4}{3}V_s^2\right) \quad (3)$$

2.1.4 Mô đun đàn hồi (E)

Mô đun đàn hồi hay mô đun Young là tỉ số giữa biến dạng và ứng suất. Nó thể hiện sự khả năng đàn hồi hay độ cứng (stiffness) của đá chứa và được xác định thông qua các đường ĐVLGK theo công thức (4):

$$E\left(MPa\right) = \rho_b V_s^2 \left(\frac{3V_p^2 - 4V_s^2}{V_p^2 - V_s^2}\right) = \frac{9K_b G}{3(K+G)} \quad (4)$$

2.1.5 Độ bền của đá thành hệ (UCS)

Độ bền (UCS) của đá thể hiện khả năng chống lại sự biến dạng của thành hệ dưới sự tác động của áp lực của trầm tích bên trên. Được xác định thông qua công thức (5) cho thành hệ sét (Horsrud, 2001) và (6) cho thành hệ cát có kết yếu (McNally, 1987):

$$UCS\left(MPa\right) = 0.77 * V_p^{2.93} \quad (5)$$

$$UCS\left(MPa\right) = 1200 * e^{-0.0367\left(\frac{304800}{V_p}\right)} \quad (6)$$

2.2 Các phương pháp dự báo khả năng sinh cát

Dưới đây, bài báo chỉ ra một số phương pháp để dự báo khả năng sinh cát trong quá trình khai thác: Phương pháp thời khoảng truyền sóng dọc, phương pháp chỉ số sinh cát (*BI*), phương pháp chỉ số sinh cát Schlumberger (*SR*) và phương pháp dựa trên *UCS*.

2.2.1 Phương pháp thời khoảng truyền sóng dọc

Độ bền liên kết của tầng chứa được biểu thị bằng tốc độ sóng dọc ghi nhận từ carota; tốc độ sóng dọc càng thấp thì khả năng tầng chứa bị sạt lở và sinh cát càng cao. Theo kinh nghiệm, một tầng chứa được xem là không sinh cát nếu độ chậm sóng dọc nhỏ hơn 95us/ft. Ngược lại, nếu khả năng tầng chứa sinh cát cao hơn, chúng ta phải thực hiện các biện pháp để ngăn chặn hiện tượng này. Tiềm năng sinh cát của tầng chứa có thể được đánh giá dựa trên bước sóng của khoảng carota trong tầng chứa. Hiện tại, mỗi mỏ dầu có một giá trị tới hạn về thời gian truyền âm khác nhau. Nhìn chung, đối với các loại đá chứa có cố kết yếu thì rất dễ bị sinh cát và điều này xảy ra khi DTCO > 95 µs/ft (Dong nnk., 2013).

2.2.2 Phương pháp chỉ số sinh cát (BI)

Kỹ sư dầu khí thường xuyên sử dụng tài liệu ĐVLGK để dự đoán một tầng chứa đá cát có khả năng sinh cát hay không do đá cát thường có cấu trúc cố kết yếu, gây khó khăn cho việc lấy mẫu lõi nguyên vẹn. Có hai phương pháp chính để dự đoán sinh cát bằng đường địa vật lý giếng khoan: chỉ số sinh cát của Schlumberger (SR) và chỉ số sinh cát (BI). Khi BI càng lớn có nghĩa là tính chất mô đun đàn hồi (E) càng lớn. Dẫn đến độ bền của đá tốt. Theo (Dong nnk., 2013), BI nhỏ hơn 20000 MPa thì khả năng sinh cát rất cao và cần sử dụng biện pháp khống chế cát. Chỉ số sinh cát BI được tính theo công thức:

$$BI = \frac{E}{3(1-2\nu)} + \frac{4}{3} * \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (7)$$

Trong đó:

BI - Chỉ số sinh cát (MPa);

E - Young's modulus động được tính từ đường địa vật lý giếng khoan (MPa);

ν - Hệ số Poisson động được tính từ đường địa vật lý giếng khoan.

2.2.3 Phương pháp chỉ số sinh cát của Schlumberger (SR)

Để xác định độ bền của đá và khả năng sinh cát chính xác hơn thì Schlumberger đã đưa ra một chỉ số đó là SR. Dựa trên mô đun khối và mô đun cắt theo công thức (7). Tương tự như chỉ số sinh cát *BI* thì *SR* càng lớn thì đá càng bền vì các mô đun cắt, mô đun khối và mô đun đàn hồi càng lớn. Schlumberger cũng đưa ra ngưỡng SR<1.24x10^8 MPa^2 thì khả năng sinh cát lớn (Dong nnk., 2013; Lawson-Jack nnk., 2019; Ubuara nnk., 2024).

$$SR = K * G = \frac{E}{3(1-2\nu)} * \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (8)$$

2.2.4 Phương pháp kết hợp các mô đun (Ec)

Phương pháp này dựa vào đường ĐVLGK để tính giá trị Ec. Thành hệ trở nên bất ổn định và sinh cát khi Ec < 26.080 Mpa. Khi đó cần phải có các biện pháp khống chế cát ((Dong nnk., 2013; Lawson-Jack nnk., 2019; Ubuara nnk., 2024)).

$$E_c = \frac{3.03x10^8 * \rho_b}{DTCO^2} \quad (9)$$

Trong đó:

E_c - Chỉ số sinh cát kết hợp các mô đun (MPa);

DTCO - Thời khoảng truyền sóng âm (us/ft);

ρ_b - mật độ đá thành hệ (g/cm^3).

2.2.5 Phương pháp dựa trên độ bền đá - UCS

Theo tính chất cơ học của thành hệ, vỉa cát càng yếu khi UCS càng nhỏ thì khả năng sinh cát rất cao cũng như bất ổn định trong suốt quá trình khoan và khai thác. Thành hệ có khả năng sinh cát trong khu vực nghiên cứu này khi UCS<27.58MPa.

3. Kết quả và thảo luận

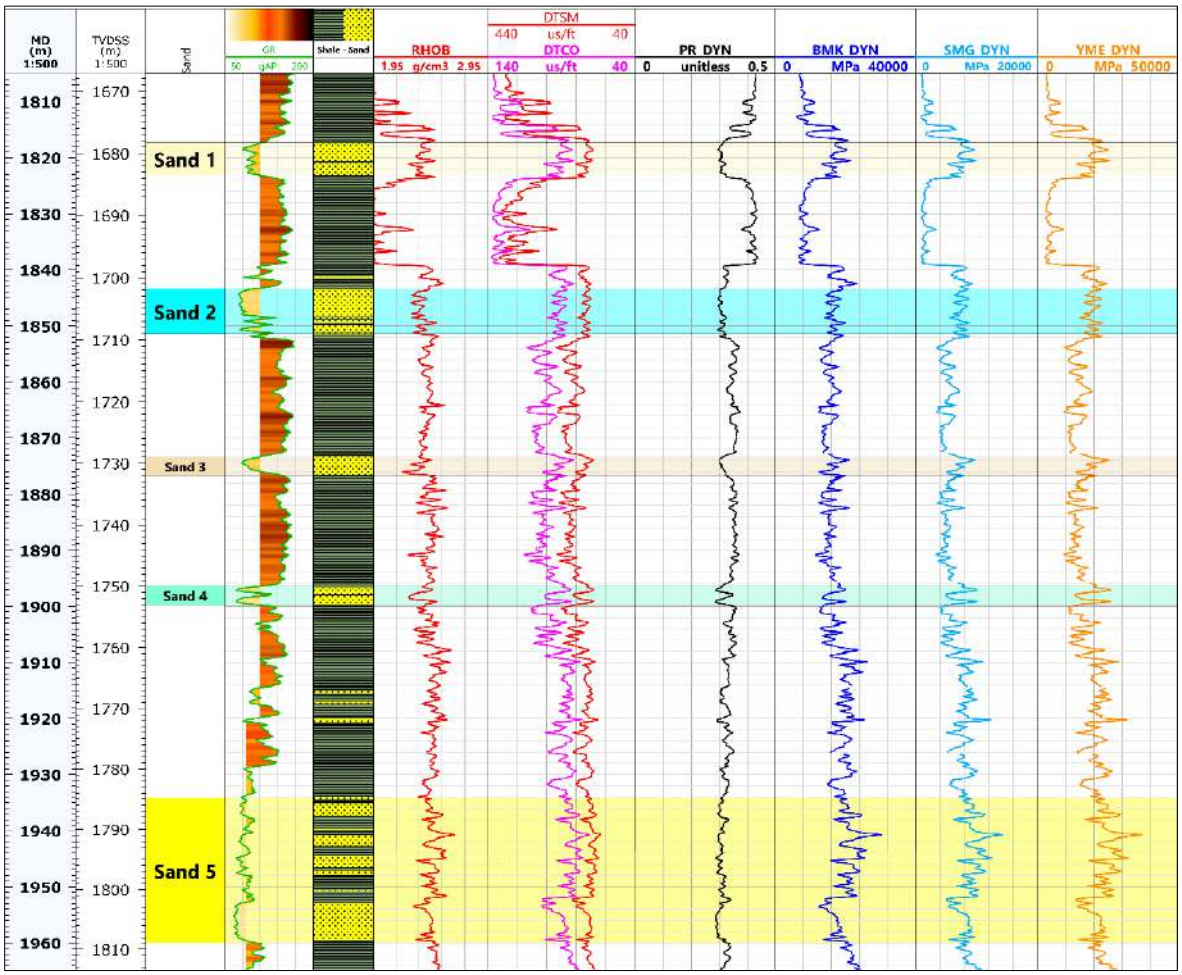
3.1 Xác định thạch học và tính chất cơ học của vỉa chứa

Khu vực nghiên cứu được chia thành hai loại thạch học cát và sét dựa trên đường gamma ray. Cụ thể, các vỉa cát Sand 1, 2, 3 và 4 có giá trị GR nhỏ hơn 110API, trong khi vỉa cát Sand 5 có GR nhỏ hơn 85API (Hình 2). Bề dày của từng vỉa cát Sand 1 đến 5 từ 3.2 - 25.73m được thể hiện trong Bảng 1 và 2. Theo báo cáo (Petronas, 2013), cát vỉa này đã và đang khai thác có hiện sinh cát khi áp suất vỉa suy giảm ~600psi.

Bảng 1. *Giá trị trung bình cho các thông số địa cơ học tại các vỉa sand 1-5*

Vỉa cát	Bề dày (m)	PR_DYN (v/v)	BMK_DYN (MPa)	SMG_DYN (MPa)	YME_DYN (MPa)
Sand 1	5.81	0.3083	17037.54	7518.83	19660.71
Sand 2	7.99	0.3076	16536.32	7311.09	19111.56
Sand 3	3.20	0.3106	16552.57	7212.30	18888.58
Sand 4	3.42	0.3112	16597.94	7277.26	19019.54
Sand 5	25.73	0.3055	19850.50	8893.85	23204.30

Hình 2 và Bảng 1 thể hiện kết quả tính toán các thông số địa cơ học và độ bền đá từ các phương trình dựa vào các đường ĐVLGK. Các giá trị trung bình cho các vỉa cát Sand 1 - 5 của các mô đun đàn hồi (YME_DYN), mô đun cắt (SMG_DYN), mô đun khối (BMK_DYN) và hệ số poisson (PR_DYN) lần lượt là 18888 - 23204 MPa, 7212 - 8893 MPa, 16536 - 19850 và 0.305 -0.311. Các giá trị thấp nhất của YME_DYN và SMG_DYN nằm tại tập vỉa cát Sand 3, trong khi đó, BMK_DYN và PR_DYN nằm lần lượt tại vỉa cát Sand 2 và Sand 5. Độ bền của đá (UCS) của các tập vỉa từ 26.08 - 32.69MPa. Trong đó, các thấp nhất tại tập vỉa cát Sand 4 và cao nhất tại tập vỉa cát Sand 5 (bảng 2). Nó nói lên rằng tập vỉa cát Sand 4 có độ cố kết thấp nhất cùng với việc tập này có bề dày mỏng (3.42m) nên chịu ảnh hưởng của lớp sét chắn trên và dưới dẫn đến khả năng sinh cát tập này rất lớn. Trong khi đó, tại tập vỉa Sand 5 có UCS lớn nhất (32.69MPa) cùng với các mô đun đàn hồi, mô đun cắt và mô đun khối là lớn nhất. Ngoài ra, theo chiều sâu thì tập vỉa cát Sand 5 sét chịu tác dụng nén của ứng suất địa tầng hay ứng suất thẳng đứng từ các lớp trầm tích bên trên. Do đó, có thể nhận thấy rằng tập vỉa cát Sand 5 này có độ cố kết lớn hơn các tập vỉa còn lại nên khả năng sinh cát thấp nhất trong các tập vỉa.



Hình 2. Các đường địa vật giếng khoan Gamma ray (GR), mật độ (RHOB - ρ_b), thời khoảng truyền sóng dọc (DTCO) và sóng ngang (DTSM). Các đường thông số địa cơ học Poisson Ratio (PR_Dyn), Bulk modulus (BMK_DYN), shear modulus (SMG_DYN) và Young Modulus (YME_DYN).

3.2 Đánh giá khả năng sinh cát cho các vỉa cát

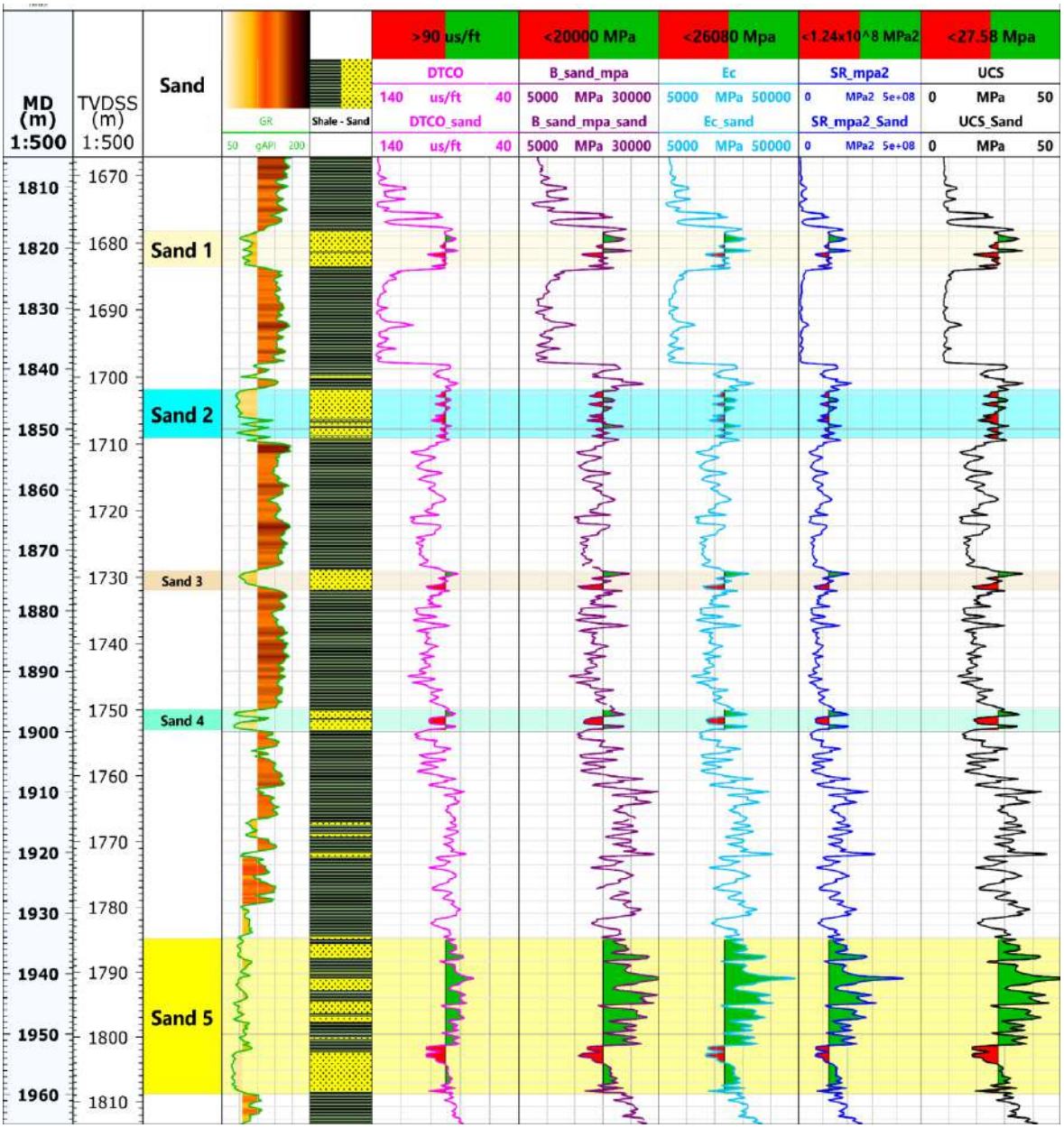
Để dự báo sinh các trong các tập vỉa, các thông số địa cơ học được sử dụng để tính toán các chỉ số sinh cát theo các phương pháp được nêu trên. Kết quả được thể hiện bảng 2 và hình 3.

3.2.1 Phương pháp thời khoảng truyền sóng dọc

Phương pháp này được áp dụng cho vỉa có khả năng sinh cát cao khi giá trị DTCO > 93us/ft và thấp hơn (Dong nnk., 2013) đã đề cập là 95us/ft vì muốn tối ưu hóa các chỉ số và lạc quan hơn trong kết quả dự báo. Dựa vào Hình 3 và Bảng 2 có thể thấy rằng giá trị DTCO nằm trong khoảng 85 - 135 us/ft và giá trị trùng bình từ 85.75 - 92.61us/ft. Trong đó, tại các tập cát Sand 1 - 4 thì giá trị trung bình từ 90.59 us/ft - đều cao hơn so với ngưỡng (90 us/ft) trong khi đó vỉa sand 5 thì thấp hơn. Đều đó nói lên rằng theo phương pháp này các vỉa Sand 1-4 có khả năng sinh cát cao hơn vỉa cát Sand 5. Mặc dù, trong vỉa cát Sand 5 có 1 đoạn từ thể hiện sinh cát (màu đỏ - Hình 3)

3.2.2 Phương pháp chỉ số sinh cát (BI)

Khi chỉ số BI càng tăng nó thể hiện rằng đá có mô đun đàn hồi cao nghĩa là đá càng bền và ổn định. Giá trị ngưỡng của *BI* thấp hơn 20.000 MPa thì khả năng sinh cát của vỉa sẽ cao (Dong nnk., 2013). Trong khu vực nghiên cứu, giá trị trung bình cho các tập vỉa cát Sand 1 đến Sand 5 lần lượt là 20427.79MPa, 19906.36MPa, 19900.20MPa 19934.94MPa, 23372.15MPa (bảng 2 và track 7 hình 3). Trong đó cao nhất tập vỉa cát Sand 1 và Sand 5 lớn hơn giá trị ngưỡng, ngược lại các vỉa còn lại thì thấp hơn. Nó nói lên rằng vỉa cát Sand 5 ít khả năng sinh cát hơn các vỉa còn lại.



Hình 3. Kết quả tính toán dự báo sinh cát trong các vỉa cát 1-5. Trong đó, vị trí màu đỏ nhỏ hơn giá trị ngưỡng và thể hiện khả năng sinh cát cao nhất. Vị trí màu xanh lớn hơn giá trị ngưỡng và thể hiện khả năng sinh cát thấp.

3.2.3 Phương pháp chỉ số sinh cát của Schlumberger (SR)

Theo track 9 của hình 3, các vị trí mà SR < 1.24x10^{8}MPa được tô màu đỏ thể hiện các vị trí có khả năng sinh cát cao hơn vị trí khác (Lawson-Jack nnk., 2019; Ubuara nnk., 2024). Thành hệ cần phải thực hiện kiểm soát tại các vị trí đó. Trong bảng 2 thể hiện giá trị SR trung bình tại các tập vỉa cát Sand 1 đến Sand 5 là từ 1.22 - 1.82 x10^{8}MPa. Chỉ có vỉa cát Sand 5 là lớn hơn giá trị ngưỡng nên khả năng sinh cát kém hơn các vỉa còn lại.

3.2.4 Phương pháp kết hợp các mô đun (Ec)

Theo (Ajayi nnk., 2022; Dong nnk., 2013; Lawson-Jack nnk., 2019; Ubuara nnk., 2024) thì khi E_c thấp hơn 26080Mpa thì thành hệ cần phải thực hiện kiểm soát cát. Trong track 8 của hình 3, các vị trí mà SR dưới 26080MPa được tô màu đỏ thể hiện các vị trí có khả năng sinh cát cao hơn vị trí khác. Các tập vỉa có giá trị Ec trung bình từ 26.009Mpa đến 31.515Mpa. Chỉ có vỉa Sand 3 nhỏ hơn giá trị ngưỡng.

3.2.5 Phương pháp dựa trên độ bền đá (UCS)

Trong bảng 2 thể hiện UCS cao nhất tại vỉa cát Sand 5 và cao hơn giá trị ngưỡng 27.58 MPa. Trong khi các vỉa còn lại thấp hơn ngưỡng. Đều này nói lên thành hệ cần phải có biện pháp kiểm soát cát trong suốt vòng đời giếng.

Bảng 2. Kết quả xác định giá trị trung bình cho các phương pháp dự báo sinh cát tại các vỉa cát Sand 1 - 5. (giá trị in đậm và gạch chân thể hiện khả năng sinh cát thấp nhất)

Vỉa Cát	Top (m)	Bottom (m)	DTCO (us/ft)	B (MPa)	Ec (MPa)	SR (x10^8 MPa^2)	UCS (MPa)
Sand 1	1817.25	1823.06	90.59	**20427.79**	**26897.64**	1.23	27.34
Sand 2	1843.41	1851.40	91.64	19906.36	**26124.18**	1.22	26.26
Sand 3	1873.39	1876.62	91.89	19900.20	26009.40	1.22	26.43
Sand 4	1896.31	1899.73	92.61	19934.94	**26140.59**	1.23	26.08
Sand 5	1934.22	1959.95	**85.75**	**23372.15**	**31515.63**	**1.82**	**32.69**

4. Kết luận

- Kết quả của nghiên cứu này đã dựa vào đường ĐVLGK để tính toán thành công các giá trị thông số địa cơ học (hê số Poisson Ratio, mô đun đàn hồi, mô đun khối, mô đun cắt) và độ bền đá (UCS).

- Nghiên cứu đã đưa ra 5 chỉ số để đánh giá khả năng sinh cát trong khu vực có thành hệ cố kết yếu bằng cách sử dụng các thông số địa cơ học được tính từ các đường ĐVLGK gồm: phương pháp thời khoản truyền sóng âm, chỉ số sinh cát (BI), chỉ số sinh cát Schlumberger (SR), phương pháp kết hợp các mô đun (Ec) và phương pháp độ bền đá (UCS).

- Kết quả dự báo sinh cát theo các số trên nhận ra rằng các vỉa cát Sand 1 - 4 cần phải thực hiện công tác thiết kế và kiểm soát cát trước khi khai thác vì có tiềm ẩn khả năng sinh cát rất lớn. Trong khi đó, vỉa cát Sand 5 thì ít khả năng sinh cát nhất. Tuy nhiên, trường hợp không sử dụng biện pháp kiểm soát cát trong các vỉa thì tránh bắn mở vỉa trong độ sâu trong bảng 3 được đánh giá khả năng sinh cát rất cao.

Bảng 3. *Bảng tổng hợp các khoảng có khả năng sinh cát cao trong các vỉa cát kết*

Vỉa	Nóc (m)	Đáy (m)
Sand 1	1819.12	1820.20
	1821.00	1823.00
Sand 2	1843.80	1844.80
	1845.62	1846.20
	1847.40	1847.20
	1849.90	1841.44
Sand 3	1847.46	1848.00
	1875.60	1876.62
Sand 4	1897.50	1897.80
	1898.00	1898.90
Sand 5	1953.00	1955.00

- Kết quả nghiên cứu này thì có thể áp dụng cho các khu vực lận cận và có cùng yếu tố địa chất trong trường hợp hạn chết về mẫu thí nghiệm và tiết kiệm thời gian chi phí.

Tài liệu tham khảo

Ajayi, T. J., Adeogun, O. Y., và Omeru, T. 2022. Predicting Sanding Potential Using Empirical Method in "Ebendo" Field, Niger Delta, Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, *26*(9), 1557-1564. https://doi.org/10.4314/jasem.v26i9.15

Asadi, S., Rahman, K., Pham, H. V., Le Minh, T., và Butt, A. 2015. Sand production assessment considering the reservoir geomechanics and water breakthrough. *The APPEA Journal*, *55*(1), 215. https://doi.org/10.1071/aj14016

Bradford, I. D. R., Fuller, J., Thompson, P. J., và Walsgrove, T. R. 2007. *Benefits of Assessing the Solids Production Risk in a North Sea Reservoir using Elastoplastic Modelling*. https://doi.org/10.2523/47360-ms

Dong, M., Long, B., Lun, L., và Juncheng, H. 2013. Application of logging data in predicting sand production in oilfield. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, *18*, 6173-6180.

Hoàng Thanh Tùng, Lê Thị Hoàng Thi, Trương Hoài Nam, Lê Vũ Quân và Tạ Văn Cường, 2016. Ứng dụng mô hình giải tích để dự báo khả năng sinh cát của các vỉa khí tầng miocene mỏ hải thạch, bể nam côn sơn. *Tạp Chí Dầu Khí Việt Nam*, *12*, 16-26.

Horsrud, P. 2001. Estimating mechanical properties of shale from empirical correlations. *SPE Drilling and Completion*, *16*(2), 68-73. https://doi.org/10.2118/56017-PA

Khamehchi, E., và Reisi, E. 2015. Sand production prediction using ratio of shear modulus to bulk compressibility (case study). *Egyptian Journal of Petroleum*, *24*(2), 113-118. https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.05.002

Lawson-Jack, O., Uko, E., Tamunobereton-ari, I., và Alabraba, M. 2019. Geomechanical Characterization of a Reservoir in Part of Niger Delta, Nigeria. *Asian Journal of Applied Sciences*.

McNally, G. H. 1987. Estimation of coal measures rock strength using sonic and neutron logs. *Geoexploration*, *24*(4-5), 381-395. https://doi.org/10.1016/0016-7142(87)90008-1

Osaki, L.-J., Etim, D. U., Iyeneomie, T.-A., và Matthew, A. A. 2019. Geomechanical characterization of a reservoir in parts of Niger Delta, Nigeria. *Asian Journal of Applied Science and Technology (AJAST)*, *3*(1), 10-30.

Petronas. 2013. *HIIP and Reserves assement report*.

Rahman, K., Khaksar, A., và Kayes, T. 2008. Minimizing sanding risk by optimizing well and perforation trajectory using an integrated geomechanical and passive sand-control approach. *Proceedings - SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, *6*, 4268-4283. https://doi.org/10.2118/116633-ms

Subbiah, S. K., De Groot, L., và Graven, H. 2014. An innovative approach for sand management with downhole validation. *SPE - European Formation Damage Conference, Proceedings, EFDC*, *2*(February), 707-721. https://doi.org/10.2118/168178-ms

Tạ Quốc Dũng và Hoàng Thanh Tùng, 2017. Mô hình dự báo sinh cát cho các giếng khai thác bồn trũng Cửu Long. *Tạp Chí Phát Triển Khoa Học và Công Nghệ. Đại Học Quốc Gia Tp. Hồ Chí Minh*, *17*.

Tạ Quốc Dũng, Lê Thị Hà và Nguyễn Tiến Đạt, 2019. Ứng dụng phương pháp địa thống kê trong dự báo các thông số địa cơ học và ứng dụng mô hình sandpit3d trong dự báo sinh cát cho giếng khai thác ở bể nam côn sơn. *Tạp Chí Dầu Khí Việt Nam*, *4*, 39-50.

Tạ Quốc Dũng và Hoàng Trọng Quang, 2003. Nghiên cứu điều kiện sinh cát và thiết lập chương trình mô phỏng sinh cát trong các giếng khoan khai thác dầu tầng Miocene thềm lục địa Việt Nam. *Đại Học Bách Khoa Tp. Hồ Chí Minh*.

Ubuara, D. O., Olayinka, Y. A., Emujakporue, G. O., và Soronnadi-Ononiwu, G. C. 2024. Evaluation of formation susceptibility and sand production potential in an offshore field, Niger Delta Basin, Nigeria. *Energy Geoscience*, *5*(1), 100213. https://doi.org/10.1016/j.engeos.2023.100213

Willson, S. M., Moschovidis, Z. A., Cameron, J. R., và Palmer, I. D. 2002. New Model for Predicting the Rate of Sand Production. *Proceedings of the SPE/ISRM Rock Mechanics in Petroleum Engineering Conference*, 152-160. https://doi.org/10.2523/78168-ms

Assessment of sand production prediction using logging data for unconsolidated formation in Cuu Long basin

Pham Quy Ngoc[1,*], Nguyen Minh Quy[1], Nguyen Van Thuan[1], Pham Xuan Toan[2]
[1]*Vietnam Petroleum Institute*
[2]*The Drilling and Production Technology Vietnam*
**Corresponding author: Email : ngocpq@vpi.pvn.vn*

Abstract

Sand production in oil and gas wells is one of the major issues that seriously affects production and recovery factor, as well as causing heavy losses to downhole and surface equipment, especially in weakly consolidated and geologically complex reservoirs such as the Miocene formation in the Cuu Long Basin. This can lead to significant time and cost for remediation, or even well abandonment. Therefore, adequate prediction of sand production potential in oil and gas reservoirs is crucial for selecting appropriate well completion equipment and production plannings, as well as for optimizing investment costs. This study proposes five parameters for predicting sand production potential based on basic well logs (Gamma Ray, Sonic, and Density) and rock mechanic properties (Unconfined Compressive Strength - UCS, Young's Modulus, Shear Modulus, Bulk Modulus, and Poisson's Ratio): (i) Sonic, (ii) Sand Production Index - B, (iii) Schlumberger Sand Production Index - SR, (iv) Elastic Combined Modulus - Ec, and (v) Unconfined Compressive Strength - UCS. The results show that the main reservoirs at depth having values lower than the critical thresholds (Sonic = 93 us/ft, B = 20,000 MPa, Ec = 26,080 MPa, S/I = 124 GPa, and UCS = 27.58 MPa) will highly prone to sand. These findings can also be applied to adjacent areas with similar geological characteristics.

Keywords: Sand production prediction; well logging geophysics; geomechanics; weakly consolidated formation.

ĐẶC ĐIỂM THI CÔNG GIẾNG KHOAN TRONG ĐIỀU KIỆN DỊ THƯỜNG ÁP SUẤT

Trương Văn Từ[1,*], Nguyễn Khắc Long [1]

[1]Trường Đại học Mỏ - Địa chất

**Tác giả liên hệ: Email:truongvantuktd50@gmail.com*

Tóm tắt

Thi công giếng khoan trong điều kiện tồn tại các vùng dị thường áp suất, bao gồm dị thường áp suất cao (DTASC) và dị thường áp suất thấp (DTAST), là thách thức kỹ thuật lớn tại mỏ Bạch Hổ. Các sự cố như mất tuần hoàn dung dịch, sập lở thành giếng, kẹt cụ và phun trào thường xảy ra tại các tầng có biến thiên áp suất mạnh, đặc biệt ở ranh giới giữa Oligoxen và Mioxen hoặc gần các đứt gãy kiến tạo. Bài báo này phân tích dữ liệu từ các giếng khoan tại các vòm Bắc, Trung tâm và Nam mỏ Bạch Hổ, kết hợp với biểu đồ áp suất và cấu trúc giếng điển hình. Trên cơ sở đó, bài báo cáo tập trung đánh giá hiệu quả của các giải pháp kỹ thuật như cấu trúc giếng, lựa chọn dung dịch khoan phù hợp với điều kiện áp suất và địa chất từng tầng. Đồng thời, việc tối ưu thời gian dừng khoan và điều chỉnh hướng giếng cũng được xem xét nhằm giảm thiểu rủi ro kỹ thuật. Kết quả nghiên cứu cho thấy các giải pháp này đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao độ an toàn và hiệu quả thi công khi khoan qua các vùng có áp suất dị thường.

***Từ khóa**:* Dị thường áp suất; thi công giếng khoan; dung dịch khoan; ổn định thành giếng; mỏ Bạch Hổ.

1. Tổng quan vấn đề nghiên cứu

Trong nước, nhiều nghiên cứu đã đề cập đến các vấn đề địa chất - kỹ thuật ảnh hưởng đến thi công giếng khoan trong điều kiện áp suất dị thường tại thềm lục địa Nam Việt Nam. Viện Dầu khí Việt Nam (VPI, 2020) đã thực hiện các báo cáo chuyên đề phân tích hiện tượng mất dung dịch và mất ổn định thành giếng tại các tầng oligoxen và mioxen của mỏ Bạch Hổ và Rồng. (Nguyễn Văn Út và nnk, 2017) đã phân tích sự cố sập lở thành giếng tại các giếng tại mỏ Bạch Hổ, xác định nguyên nhân chủ yếu đến từ gradient áp suất thay đổi bất thường và tương tác dung dịch với đất đá sét. (Trần Lê Phương và nnk, 2020) trong báo cáo phát triển mỏ Bạch Hổ đã trình bày chi tiết ảnh hưởng của DTASC đến sự tách biệt các tầng oligoxen - mioxen và đề xuất các phương án thi công thân giếng phù hợp. Một số công trình của (Lê Hồng Quân, 2018; Nguyễn Thái Hợp, 2019) còn tập trung nghiên cứu mô hình hóa ứng xử địa cơ học và hiệu chỉnh cửa sổ khoan tối ưu theo dữ liệu thực nghiệm từ Vietsovpetro. Bên cạnh đó, các giải pháp xử lý mất dung dịch bằng vật liệu sinh học như vỏ trấu, bột cellulose cũng đã được thử nghiệm thành công tại mỏ Rồng, góp phần giảm chi phí và thời gian khoan (Nguyễn Thanh Tình và nnk, 2018).

Các nghiên cứu trên thế giới như (Zoback, 2007; Moos & Zoback, 2010) đã tiên phong trong nghiên cứu về ổn định giếng khoan, thiết lập khái niệm "góc tới hạn" khi giếng gặp vỉa theo phương nghiêng bất lợi. (Eaton, 1972) đề xuất mô hình tính áp suất vỉa từ dữ liệu vận tốc sóng âm, được cải tiến trong các nghiên cứu sau này của (Dutta và nnk, 2012) khi kết hợp với dữ liệu địa chấn 3D. Các công trình tại (Schlumberger, 2020) đã phát triển phương pháp Managed Pressure Drilling (MPD) áp dụng thành công trong các vùng đá móng nứt nẻ ở vịnh Mexico, biển Bắc và Trung Đông - nơi có đặc điểm tương đồng với tầng đá móng của Bạch Hổ. Một số nghiên cứu tại Brazil và Kazakhstan (Silva và nnk, 2017; Kenzhebayev và nnk, 2019) cho thấy việc khoan qua vùng áp suất thấp gần đứt gãy có thể gây mất tuần hoàn không phục hồi nếu không xử lý sớm bằng LCM hòa tan trong axit. Các nghiên cứu tại Trung Quốc (Wu và nnk, 2016) cũng chỉ ra mối liên hệ rõ rệt giữa mất dung dịch khoan và khu vực có gradient nhiệt cao, một yếu tố tương đồng với một số khu vực ở Bạch Hổ.

Như vậy, các nghiên cứu đã làm rõ cơ chế gây mất ổn định giếng khoan trong vùng có DTASC/DTAST từ cả góc độ địa chất, cơ học đất đá và kỹ thuật thi công. Tuy nhiên, khoảng trống vẫn còn tồn tại trong việc tích hợp đồng bộ mô hình địa cơ, địa vật lý và vận hành thực tế để lập bản đồ nguy cơ sự cố. Những hướng nghiên cứu gần đây của (Petronas, 2020; Rosneft, 2019 và PVEP, 2021) đang chú trọng đến việc xây dựng hệ thống dự báo thời gian thực,cho phép điều chỉnh chế độ khoan và lựa chọn vật liệu bít nhét theo từng giếng. Do vậy, việc tổng hợp kinh nghiệm thế giới, kết hợp với số liệu đặc thù của Bạch Hổ sẽ là nền tảng quan trọng để phát triển chiến lược khoan an toàn và hiệu quả hơn trong những năm tới.

2. Cơ sở dữ liệu và phương pháp tiếp cận phân tích kỹ thuật giếng khoan trong điều kiện áp suất dị thường

Mục tiêu chính của nghiên cứu là đánh giá chi tiết các yếu tố kỹ thuật - địa chất ảnh hưởng đến thi công giếng khoan trong điều kiện dị thường áp suất tại mỏ Bạch Hổ. Phương pháp tiếp cận của nghiên cứu dựa trên tổng hợp dữ liệu thực tế, phân tích địa chất - cơ học đá, và mô hình hóa hiện tượng tương tác dung dịch khoan với thành giếng. Các bước cụ thể được triển khai như sau:

2.1 Thu thập dữ liệu thực tế

Dữ liệu nghiên cứu được thu thập từ các nguồn tài liệu kỹ thuật chính thức trong quá trình thi công và khai thác tại mỏ Bạch Hổ. Các thông tin bao gồm thiết kế giếng khoan, thông số thi công, biểu đồ áp suất, cấu trúc giếng điển hình và các ghi nhận liên quan đến sự cố kỹ thuật. Dữ liệu được thu thập trong nhiều năm, trải rộng tại các khu vực khai thác có điều kiện địa chất và áp suất khác nhau.

Toàn bộ dữ liệu sau khi thu thập được tiến hành số hóa và chuẩn hóa để phục vụ phân tích. Quá trình chuẩn hóa bao gồm việc tổ chức lại thông tin theo khu vực địa chất, phân loại theo tầng chứa và trạng thái áp suất vỉa, đồng thời đánh dấu những trường hợp có phát sinh sự cố để phục vụ nghiên cứu so sánh. Hệ thống dữ liệu sau khi chuẩn hóa là cơ sở để đánh giá mối quan hệ giữa điều kiện địa chất - áp suất và hiệu quả thi công giếng khoan trong các khu vực có áp suất vỉa bất thường.

2.2 Phân tích điều kiện địa chất - áp suất

Dựa trên mặt cắt địa chất tổng hợp và mô tả phân bố áp suất vỉa tại từng vòm cấu trúc trong mỏ Bạch Hổ, nghiên cứu đã tiến hành phân chia hai vùng khảo sát chính theo đặc điểm áp suất bất thường như sau:

- Vùng có dị thường áp suất cao (DTASC): Phân bố chủ yếu tại tầng Oligoxen trên, tập trung ở vòm Bắc và vòm Trung tâm, với gradient áp suất dao động từ 1,59 đến 1,70 Ptt. Áp suất cao bất thường tại khu vực này có thể vượt ngưỡng ổn định cơ học của thành giếng, đòi hỏi cấu trúc giếng và dung dịch khoan được thiết kế phù hợp để đảm bảo an toàn thi công.
- Vùng có dị thường áp suất thấp (DTAST): Ghi nhận tại tầng Mioxen dưới, chủ yếu xuất hiện trong các giếng thân hai ở cuối giai đoạn khai thác. Đặc trưng của khu vực này là áp suất vỉa sản phẩm nhỏ hơn đáng kể so với áp suất thủy tĩnh, làm gia tăng nguy cơ mất dung dịch và mất cân bằng giếng nếu không được phát hiện và xử lý kịp thời.

Để đánh giá rủi ro mất ổn định thành giếng, nghiên cứu đã kết hợp biểu đồ áp suất tổng hợp với dữ liệu khảo sát từ các giếng khoan thực tế nhằm phân tích tương quan giữa áp suất vỉa, áp suất lỗ rỗng và áp suất giếng. Các khoảng nguy hiểm tiềm tàng được xác định dựa trên hai điều kiện giới hạn kỹ thuật:

- Khi áp suất giếng lớn hơn tổng của áp suất vỉa và gradient gãy nứt thành giếng, nguy cơ mất dung dịch khoan do vỡ thành giếng hoặc rò rỉ vào vỉa là rất cao.
- Khi áp suất giếng nhỏ hơn áp suất vỉa, giếng rơi vào trạng thái mất cân bằng và có khả năng dẫn đến phun trào không kiểm soát.

Việc áp dụng đồng thời phương pháp phân vùng địa chất và phân tích định lượng áp suất giếng

là cơ sở quan trọng trong thiết kế kỹ thuật khoan phù hợp, nhằm đảm bảo thi công an toàn và hiệu quả tại các khu vực có điều kiện địa chất - áp suất phức tạp như mỏ Bạch Hổ.

2.3 Thống kê và phân loại sự cố thi công

Bảng 1. *Phân loại và đặc điểm địa chất của các sự cố thi công trong vùng có áp suất dị thường*

Loại sự cố	Tần suất cao nhất	Ranh giới địa chất / Vòm cấu trúc điển hình
Sập lở thành giếng	Oligoxen trên, DTASC	Ranh giới Mioxen - Oligoxen, đặc biệt tại vòm Bắc
Mất dung dịch khoan	Mioxen dưới (DTAST), đá móng nứt nẻ	Tầng Mioxen dưới và móng nứt nẻ, phổ biến tại vòm Nam
Kẹt bộ dụng cụ, bó choòng	Khi khoan qua đứt gãy, đá sét yếu	Ranh giới Mioxen - móng, khu vực có đới đứt gãy, thường ở vòm Trung tâm
Phun trào	DTAST không phát hiện, kiểm soát	Tầng Mioxen dưới, xuất hiện tại các vòm Nam và vòm biên xa

Bảng trên cho thấy các sự cố kỹ thuật trong quá trình thi công giếng khoan tại mỏ Bạch Hổ chủ yếu tập trung ở các khu vực có áp suất vỉa biến động bất thường, đặc biệt là tại các ranh giới địa chất hoặc vòm có đặc điểm cấu trúc phức tạp. Hiện tượng sập lở thành giếng xảy ra phổ biến tại tầng Oligoxen trên, nơi thường xuất hiện dị thường áp suất cao (DTASC). Khu vực ranh giới giữa tầng Mioxen và Oligoxen tại vòm Bắc là nơi đặc biệt nhạy cảm, do sự chuyển tiếp áp suất đột ngột gây mất ổn định thành giếng nếu không được cô lập kịp thời bằng cấu trúc giếng hoặc dung dịch khoan phù hợp.

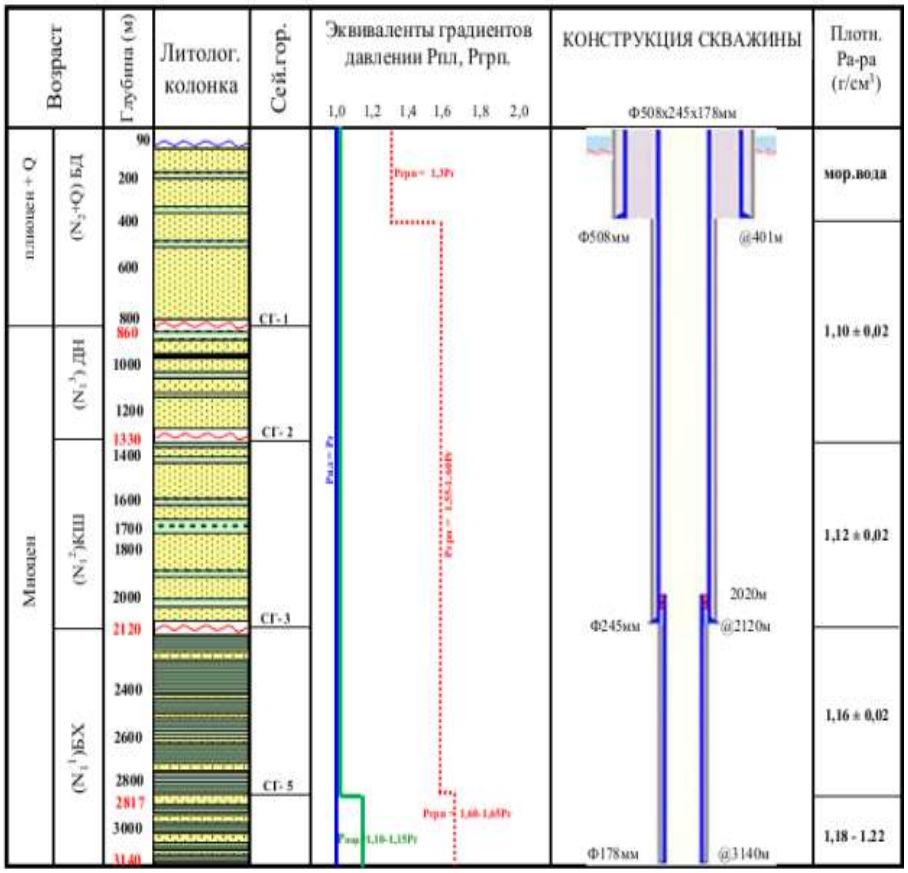
Ngược lại, sự cố mất dung dịch khoan thường xảy ra tại tầng Mioxen dưới - khu vực đặc trưng bởi dị thường áp suất thấp (DTAST), đặc biệt tại vòm Nam - nơi đã trải qua thời gian khai thác dài. Tại đây, áp suất vỉa thấp hơn áp suất thủy tĩnh gây ra hiện tượng mất dung dịch vào vỉa, dẫn đến mất kiểm soát áp suất giếng nếu không điều chỉnh kịp thời. Ngoài ra, các sự cố kẹt bộ dụng cụ, bó choòng thường gắn liền với việc khoan qua đới đứt gãy hoặc đá sét yếu, đặc biệt tại vòm Trung tâm - nơi có địa chất không ổn định về mặt cơ học. Những khu vực này dễ gây biến dạng thành giếng và giữ lại cụ khoan trong khi thao tác.

Đáng lưu ý, hiện tượng phun trào có thể xảy ra đột ngột ở các giếng khoan thân hai tại tầng Mioxen dưới thuộc các vòm biên xa, nơi áp suất thấp không được phát hiện sớm do thiếu dữ liệu địa chất cập nhật. Khi áp suất dung dịch vượt quá áp suất vỉa thực tế, đặc biệt trong điều kiện thiếu hệ thống duy trì áp suất vỉa, phun trào có thể diễn ra một cách không kiểm soát.

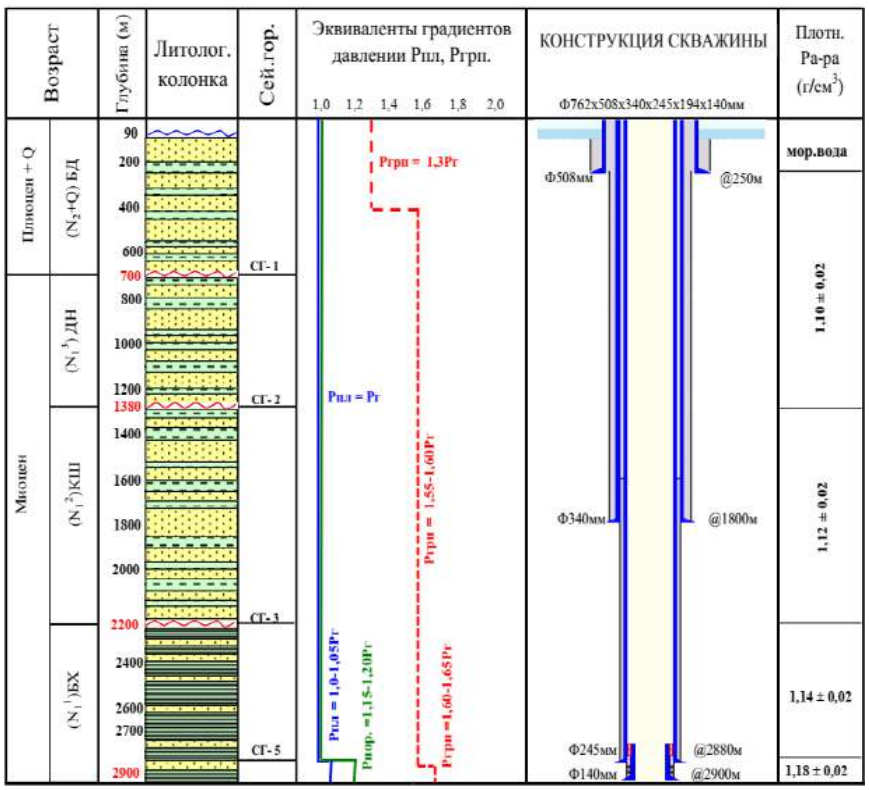
Từ những phân tích trên, có thể khẳng định rằng việc nắm bắt đặc điểm địa chất gắn liền với từng loại sự cố không chỉ giúp nhận diện rủi ro tiềm ẩn, mà còn là cơ sở để tối ưu cấu trúc giếng, lựa chọn hệ dung dịch khoan phù hợp, và xây dựng kế hoạch khoan an toàn tại các khu vực có áp suất vỉa bất thường như mỏ Bạch Hổ.

2.4 Phân tích biểu đồ cấu trúc và áp suất giếng khoan

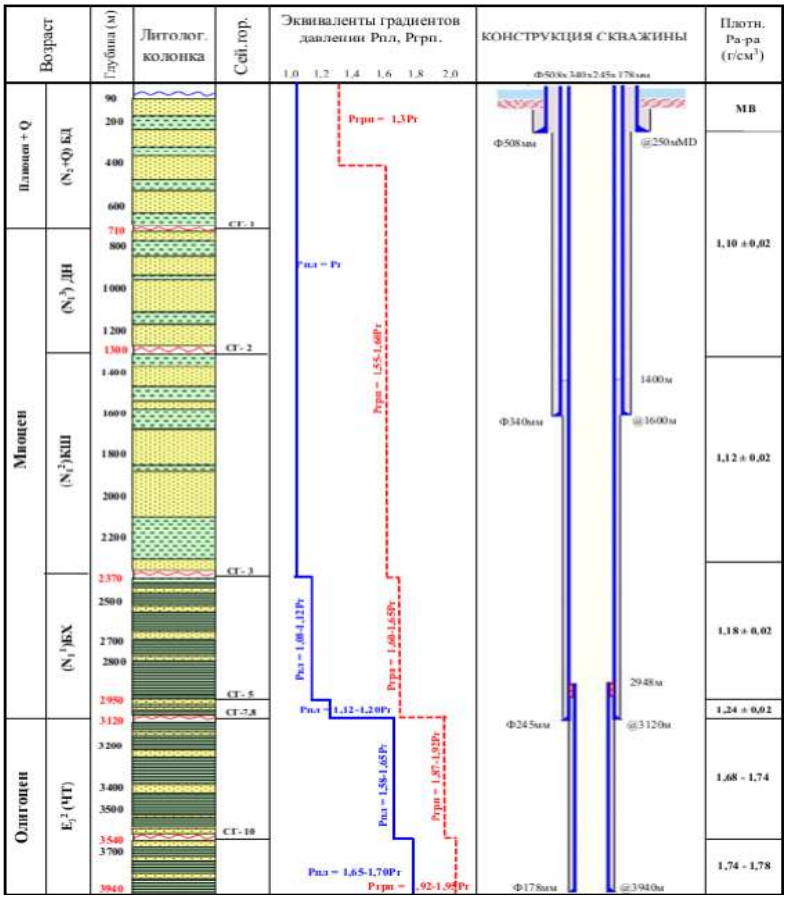
Biểu đồ áp suất và cấu trúc giếng khoan (Hình 1 đến Hình 5) đóng vai trò quan trọng trong việc đánh giá mức độ phù hợp giữa thiết kế kỹ thuật và điều kiện áp suất vỉa thực tế. Thông qua các biểu đồ này, có thể xác định mối tương quan chặt chẽ giữa biến thiên áp suất theo chiều sâu và vị trí đặt các cấp ống chống. Khi áp suất vỉa tăng đột ngột (đặc biệt tại ranh giới giữa các tầng Oligoxen - Mioxen hoặc gần các đới đứt gãy), nếu không được cô lập kịp thời bằng ống chống, giếng khoan dễ rơi vào trạng thái mất ổn định. Các vị trí rủi ro cao nơi mà áp suất vỉa vượt quá khả năng chịu đựng của thành giếng - chính là nguyên nhân chủ yếu dẫn đến sự cố kỹ thuật như bó hẹp thành giếng, sập lở hoặc mất dung dịch. Vì vậy, biểu đồ áp suất không chỉ giúp phát hiện sớm nguy cơ mà còn là công cụ hỗ trợ thiết kế kỹ thuật giếng chính xác ngay từ đầu.



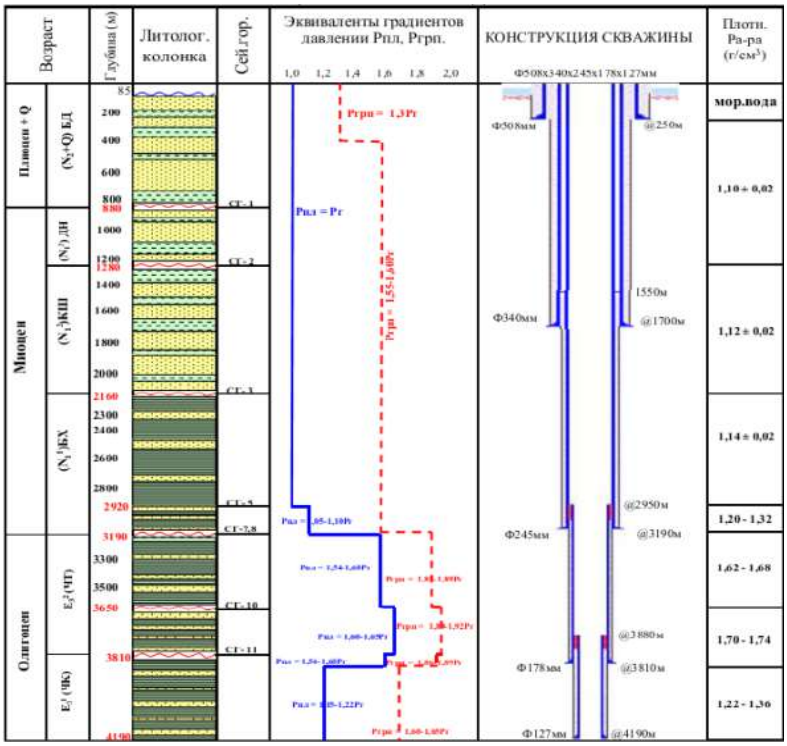
Hình 1. Biểu đồ áp suất tổng hợp và cấu trúc mẫu của các giếng khoan Mioxen dưới (Trần Lê Phương và nnk, 2020)



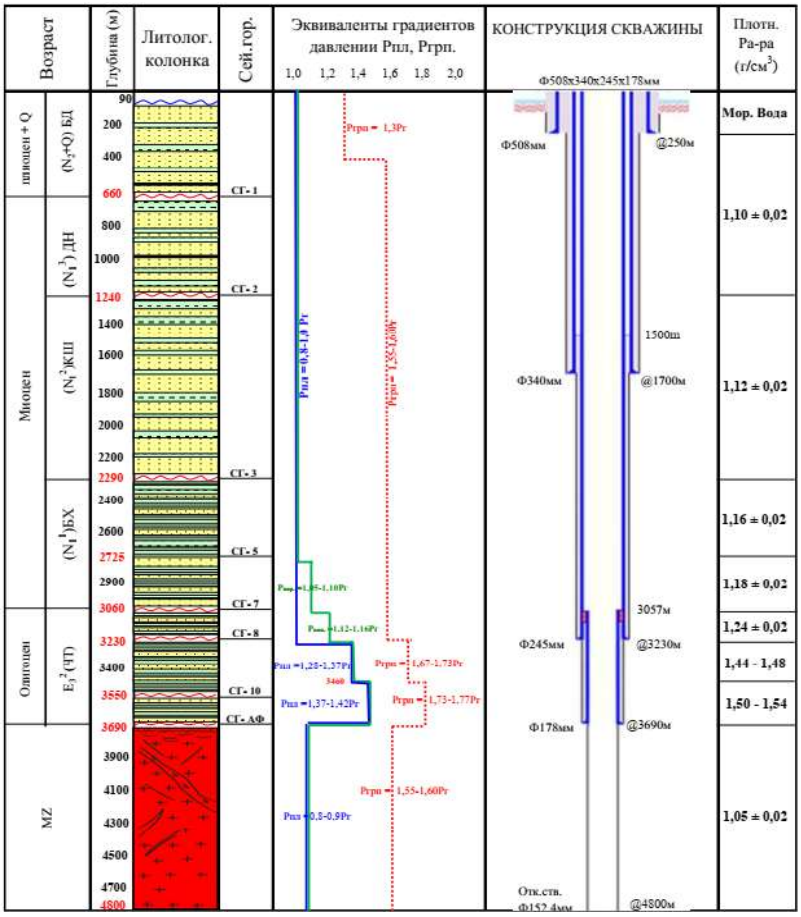
Hình 2. Biểu đồ áp suất tổng hợp và cấu trúc mẫu của các giếng khoan ngang Mioxen dưới (Trần Lê Phương và nnk, 2020)



Hình 3. Biểu đồ áp suất tổng hợp và cấu trúc mẫu của các giếng khoan Oligoxen trên (Trần Lê Phương và nnk, 2020)



Hình 4. Biểu đồ áp suất tổng hợp và cấu trúc mẫu của các giếng khoan Oligoxen dưới (Trần Lê Phương và nnk, 2020)



Hình 5. Biểu đồ áp suất tổng hợp và cấu trúc mẫu của các giếng khoan móng ở khu vực trung tâm (Trần Lê Phương và nnk, 2020)

Ngoài ra, việc phân tích biểu đồ cấu trúc giếng và áp suất cho thấy cấu trúc giếng có nhiều cấp ống chống tỏ ra hiệu quả hơn trong việc kiểm soát và cô lập các vùng có dị thường áp suất. Cấu trúc này cho phép chia nhỏ độ sâu thi công thành từng đoạn ngắn hơn, từ đó bố trí các cấp ống chống linh hoạt hơn theo sự biến thiên của áp suất địa tầng. Nhờ đó, có thể điều chỉnh tỷ trọng dung dịch khoan phù hợp với từng khu vực cụ thể, hạn chế được hiện tượng sập lở thành giếng, mất dung dịch hay kẹt cụ khoan.

Ngược lại, với các cấu trúc giếng đơn giản hơn, số lượng cấp ống chống ít hơn sẽ làm giảm khả năng phản ứng linh hoạt trước các thay đổi đột ngột về áp suất. Điều này dễ dẫn đến việc sử dụng dung dịch khoan không tối ưu cho toàn bộ chiều sâu, gây ảnh hưởng đến sự ổn định của thành giếng cũng như hiệu quả thi công. Vì vậy, biểu đồ cấu trúc và áp suất là cơ sở quan trọng để lựa chọn cấu hình giếng phù hợp với điều kiện địa chất cụ thể, đặc biệt trong các mỏ có áp suất biến động phức tạp như Bạch Hổ.

3. Kết quả nghiên cứu và phân tích các giải pháp kỹ thuật khi thi công giếng trong điều kiện dị thường áp suất

3.1 Đặc điểm thi công giếng khoan trong vùng dị thường áp suất cao (DTASC)

Vùng DTASC tại mỏ Bạch Hổ chủ yếu tập trung ở tầng Oligoxen trên, đặc biệt tại các khu vực thuộc vòm Bắc và Trung tâm. Phân tích địa chất kết hợp với biểu đồ gradient áp suất (Hình 1-3) cho thấy áp suất vỉa tại đây có thể đạt tới 1,70 Ptt, vượt xa mức áp suất thủy tĩnh tiêu chuẩn (1,00-1,05 Ptt). Nguyên nhân chủ yếu là do quá trình nén ép địa tầng chưa hoàn tất và sự tồn tại của các lớp sét chắn dày phía trên, làm hạn chế khả năng thoát lưu và gây tích tụ áp suất trong tầng chứa. Các sự cố kỹ thuật điển hình thường ghi nhận trong vùng DTASC bao gồm:

- Sập lở thành giếng: Khi tỷ trọng dung dịch khoan không đủ cao để cân bằng áp suất vỉa, lớp đất đá yếu quanh thành giếng bị đẩy vỡ, dẫn đến giếng mở rộng mất kiểm soát và nguy cơ sập cục bộ.
- Mất tuần hoàn dung dịch: Áp suất dung dịch vượt ngưỡng phá vỡ vỉa tại các tầng chứa khe nứt hoặc đá sét yếu sẽ gây mất dung dịch vào vỉa, làm suy giảm hiệu quả vận chuyển mùn khoan và gây tích tụ mảnh vụn dưới đáy giếng.
- Kẹt bộ cụ dụng khoan và bó hẹp thành giếng: Ghi nhận thực tế tại một giếng khoan ở vòm Bắc, sau khi dừng khoan trong 8 ngày tại tầng sét trương nở ở độ sâu khoảng 3.260 m, dụng cụ khoan đã bị bó do thành giếng bị biến dạng và không trở lại trạng thái ban đầu. Hiện tượng này xảy ra do sét ngậm nước, trương nở và làm hẹp tiết diện giếng, khiến quá trình kéo cụ gặp trở ngại và buộc phải dừng thi công.
- Khó kiểm soát khi khoan đồng thời qua hai tầng có áp suất khác biệt: Trong trường hợp khoan đồng thời qua Oligoxen (áp suất cao) và Mioxen (áp suất thấp), chênh lệch áp suất giữa hai tầng làm tăng nguy cơ mất ổn định tại vùng chuyển tiếp đáy giếng, kể cả khi áp suất tổng thể đã được cân đối.

Giải pháp kỹ thuật đã áp dụng tại vùng DTASC bao gồm:

- Thiết kế cấu trúc giếng khoan nhiều cấp ống chống: Thân giếng được chia nhỏ theo chiều sâu, với ống chống trung gian được bố trí tại các ranh giới có sự biến đổi đột ngột về áp suất. Cách bố trí này giúp cô lập hiệu quả các tầng áp suất bất thường và ngăn ngừa áp suất cao lan xuống vùng giếng khoan sâu hơn, từ đó giảm thiểu nguy cơ sập thành và mất ổn định giếng.

- Sử dụng dung dịch khoan có trọng lượng riêng cao (~1,30 g/cm³): Dung dịch được pha chế kèm theo polymer ổn định đất đá sét để hạn chế trương nở, đồng thời bổ sung các vật liệu bít nhét tổn thất dạng LCM (thường là cellulose và graphite hòa tan trong axit) nhằm ngăn ngừa mất dung dịch vào các khe nứt hoặc tầng đá yếu.

- Hạn chế thời gian dừng khoan trong vùng DTASC xuống dưới 6-8 ngày: Nếu thời gian tiếp xúc giữa dung dịch và thành giếng kéo dài, đất đá sét sẽ hút nước và suy giảm độ bền. Do đó, sau khoảng thời gian này cần thực hiện các biện pháp kỹ thuật như trám xi măng hoặc lắp đặt ống chống kịp thời để bảo vệ thành giếng và duy trì ổn định cơ học cho đoạn giếng đã khoan.

3.2 Thách thức kỹ thuật khi khoan qua vùng dị thường áp suất thấp (DTAST)

Khác với vùng DTASC, DTAST thường xuất hiện ở các tầng Mioxen dưới hoặc tầng móng đã khai thác lâu năm, đặc biệt tại các giếng sửa chữa, khoan xẻ nhánh hoặc khoan khai thác lại ở cuối vòng đời mỏ. Ở Bạch Hổ, điều này thể hiện rõ ở các giếng tại vòm Trung tâm và vòm Nam, nơi mà áp suất sản phẩm giảm 10-20% so với áp suất thủy tĩnh, áp suất vỉa sản phẩm thấp hơn đáng kể so với áp suất thủy tĩnh, tạo ra các vùng áp suất giảm sâu, làm tăng nguy cơ mất dung dịch và gây mất kiểm soát áp suất trong giếng. Các sự cố kỹ thuật điển hình thường ghi nhận:

- Phun trào và mất dung dịch đồng thời: Áp suất vỉa thấp hơn làm dung dịch bị hút vào vỉa, gây mất dung dịch; trong khi ở một số điểm kế cận có tồn lưu khí hoặc chất lỏng, áp suất nội tại tăng cục bộ, gây hiện tượng phun trào ngược. Điều này từng xảy ra tại vòm Trung tâm và vòm Nam, tầng móng, khi dung dịch 1.20 g/cm³ mất toàn bộ trong vòng 3 giờ.
- Không có hệ thống duy trì áp suất vỉa (PPD): Các vùng đã khai thác lâu mất hoàn toàn áp suất đệm, khiến việc khoan trở nên rủi ro. Trong điều kiện này, cấu trúc đá trở nên rời rạc, độ bền giảm mạnh, nguy cơ sập thành gia tăng.
- Khó nhận diện bằng địa vật lý thường quy: Vì DTAST không tạo phản ứng rõ trên logging gamma hay sonic, nên cần kết hợp địa chấn 3D/4D và mô phỏng áp suất thời gian thực để phát hiện sớm.

Giải pháp kỹ thuật hiệu quả:

- Sử dụng dung dịch khoan nền nhẹ, giảm áp lực lên thành giếng, kết hợp bít nhét trước bằng

LCM sinh học (vỏ trấu, sơ dừa, bột đá mềm, cellulose).

- Áp dụng phương pháp khoan không tuần hoàn hoặc nửa tuần hoàn, hạn chế tổn thất dung dịch.
- Cài đặt cảm biến đo lưu lượng trở về (influx) để phát hiện sớm mất dung dịch - cảnh báo phun trào.

3.3 Ảnh hưởng của dung dịch khoan đến ổn định thành giếng trong điều kiện áp suất dị thường

Bảng 2. *Hiệu quả ứng dụng các loại dung dịch khoan trong kiểm soát áp suất dị thường tại mỏ Bạch Hổ*

Loại dung dịch	Tầng áp dụng chính	Hiệu quả thực tế
Kali Cl + PHPA + LCM	Oligoxen (DTASC), móng	Ổn định khi khoan đất đá chứa sét, giảm trương nở và tổn thất dung dịch.
Nhôm - Kali + Polymer	Tầng móng nứt nẻ	Duy trì độ ổn định thành giếng, bít nhét khe nứt, hạn chế mất dung dịch
Nước biển + LCM sinh học	Mioxen dưới (DTAST)	Khoan nhanh, giảm chi phí, phù hợp với vùng áp suất thấp.

Từ tổng hợp dữ liệu thực tế tại mỏ Bạch Hổ, cho thấy dung dịch khoan đóng vai trò quyết định trong việc kiểm soát áp suất và ổn định thành giếng, đặc biệt tại các vùng có dị thường áp suất. Các loại dung dịch được đánh giá là hiệu quả nhất khi khoan qua những tầng địa chất khác nhau bao gồm:

- Dung dịch Kali Cl + PHPA + LCM: Được sử dụng chủ yếu tại tầng Oligoxen - nơi thường gặp dị thường áp suất cao (DTASC) hoặc vùng đá móng. Loại dung dịch này giúp ổn định cấu trúc đất đá sét, hạn chế hiện tượng trương nở và giảm thiểu mất dung dịch vào vỉa nhờ sự kết hợp của polymer (PHPA) và vật liệu bít nhét LCM.
- Dung dịch Nhôm - Kali kết hợp Polymer: Áp dụng hiệu quả tại các tầng móng nứt nẻ có cấu trúc phức tạp. Polymer tăng độ nhớt hệ dung dịch giúp duy trì độ bền vách giếng, trong khi hệ nền nhôm - kali hỗ trợ cách ly tốt các khe nứt nhỏ, giảm rủi ro mất tuần hoàn.
- Dung dịch nước biển kết hợp LCM sinh học: Thường được sử dụng trong tầng Mioxen dưới - khu vực phổ biến dị thường áp suất thấp (DTAST). Loại dung dịch này có chi phí thấp, phù hợp cho khoan nhanh và giúp giảm chi phí khoan tại các giai đoạn cuối đời mỏ mà vẫn đảm bảo an toàn kỹ thuật.

3.4 Tác động của thiết kế giếng khoan đến hiệu quả kiểm soát kỹ thuật tại các vùng áp suất bất thường

Các phân tích địa cơ học chỉ ra rằng, khi góc nghiêng thân giếng vượt quá 30° so với phương đổ lớp (dip direction), ứng suất cắt dọc thành giếng tăng mạnh, đặc biệt tại các tầng chứa đất đá sét yếu hoặc trương nở. Ứng suất này có thể vượt quá giới hạn chịu lực của thành giếng, gây nứt tách, lở vách hoặc tích tụ mùn khoan tại các điểm thấp. Ghi nhận thực tế tại một giếng có góc nghiêng khoảng 34°, hiện tượng bó dụng cụ đã xảy ra ở độ sâu khoảng 3.480 m do mùn khoan không được tuần hoàn hiệu quả. Khi giếng khoan đi xuyên qua hoặc gần các đới đứt gãy, đất đá tại khu vực này thường đã bị phá huỷ cơ học, mất liên kết và có tính thấm cao. Điều này dẫn đến hiện tượng mất tuần hoàn dung dịch khoan nghiêm trọng. Ngoài ra, trong quá trình bơm xi măng trám ống chống, nếu lớp xi măng không lấp đầy triệt để các khe nứt, dung dịch sẽ bị dẫn lưu ra xa vùng kiểm soát, ảnh hưởng đến khả năng cách ly các tầng sản phẩm và gây mất ổn định lâu dài. Giải pháp đưa ra:

- Tránh thiết kế hướng khoan song song với phương đổ lớp để giảm ứng suất tiếp xúc và nguy cơ bó dụng cụ khoan;

- Tích hợp bản đồ cấu trúc đứt gãy từ dữ liệu địa chấn 3D trong giai đoạn thiết kế giếng để chủ động điều chỉnh hướng giếng khoan, né tránh các đới kiến tạo yếu.

4. Kết luận và kiến nghị

- Thi công giếng khoan tại mỏ Bạch Hổ trong điều kiện có DTASC và DTAST gây ra nhiều rủi ro kỹ thuật như sập lở thành giếng, mất dung dịch, kẹt dụng cụ và phun trào. DTASC thường gặp ở tầng Oligoxen trên, còn DTAST phổ biến ở tầng Mioxen dưới vào giai đoạn cuối khai thác;

- Nghiên cứu khẳng định rằng dự báo chính xác vùng áp suất bất thường trước khi khoan là yếu tố quyết định, đòi hỏi tích hợp dữ liệu địa chấn 3D, thông tin từ giếng lân cận và mô hình diễn biến áp suất. Việc lựa chọn đúng dung dịch khoan, cấu trúc giếng, chế độ khoan và hướng khoan phù hợp sẽ giúp kiểm soát hiệu quả rủi ro kỹ thuật;

- Cần tích hợp đồng bộ các mô hình địa cơ học, dữ liệu địa chấn và hệ thống cảnh báo sớm vào thiết kế và thi công giếng khoan, nhằm dự báo chính xác dị thường áp suất, tối ưu thông số khoan theo thời gian thực và giảm thiểu rủi ro kỹ thuật trong điều kiện địa chất phức tạp như tại mỏ Bạch Hổ.

Tài liệu tham khảo

Trần, L. P., Nguyễn, V. T., & Phạm, M. C. (2020). Kế hoạch phát triển mỏ Bạch Hổ - Lô 09-1, Tập IV: Xây dựng giếng khoan, công nghệ và kỹ thuật khai thác dầu khí. Vietsovpetro.

Nguyễn, V. Ú. (2017). Báo cáo chuyên đề về ứng xử địa cơ giếng khoan qua tầng Oligoxen trên tại vòm Bắc mỏ Bạch Hổ. Viện Dầu khí Việt Nam (VPI).

Viện Dầu khí Việt Nam (VPI). (2020). Báo cáo phân tích sự cố kỹ thuật giếng khoan tại mỏ Bạch Hổ và mỏ Rồng giai đoạn 2015-2020.

Lê, H. Q. (2018). Ứng dụng mô hình địa cơ học trong thiết kế khoan giếng có áp suất dị thường. Tạp chí Dầu khí Việt Nam, (3).

Nguyễn, T. H. (2019). Giải pháp lựa chọn dung dịch khoan cho tầng Oligoxen - Mioxen dưới mỏ Bạch Hổ. Báo cáo nội bộ VPI.

Nguyễn, T. T., Phạm, Q. T., & Lê, V. H. (2018). Thử nghiệm vật liệu bít sinh học trong xử lý mất dung dịch tại mỏ Rồng. Tạp chí Công nghiệp Dầu khí, (2).

Bùi, T. H. (2019). Phân tích chỉ tiêu khoan và tối ưu thiết kế kỹ thuật tại vùng có DTAST. Vietsovpetro Training Report.

Phạm, M. Đ. (2020). Phân tích hiệu quả sử dụng dung dịch kali-nhôm tại các giếng khoan thân hai ở vòm Trung tâm mỏ Bạch Hổ. PVEP.

Đào, N. H. (2019). Đặc điểm địa chất ảnh hưởng đến ổn định giếng khoan tại tầng móng mỏ Rồng. Hội thảo Khoa học Vietsovpetro.

Tống, C. S. (2020). Ứng dụng kỹ thuật đo địa cơ học trong khoan định hướng tại mỏ Bạch Hổ. Báo cáo chuyên đề, Viện NCKH & TK.

Zoback, M. D. (2007). Reservoir Geomechanics. Cambridge University Press.

Moos, D., & Zoback, M. (2010). Stability of boreholes and well planning. Oilfield Review, Schlumberger, Spring.

Eaton, B. A. (1972). The equation for geopressure prediction from well logs. World Oil, 182(10), 79-84.

Dutta, N. C., Ranganayaki, R. P., & Subramanian, S. (2012). Advances in pore pressure prediction using seismic and logging data integration. SEG Technical Program Expanded Abstracts.

Schlumberger. (2018). Drilling Engineering Manual (11th ed.). Schlumberger.

Silva, L. F., Oliveira, J. M., & Santos, R. A. (2017). Managed pressure drilling in pre-salt formations in Brazil: Challenges and achievements. SPE Latin America and Caribbean Petroleum Engineering Conference.

Kenzhebayev, S., Sarsenbayev, A., & Zhaxybayev, M. (2019). Application of LCM in naturally fractured formations in Kazakhstan. Journal of Petroleum Science and Engineering, 182.

Wu, X., Li, Y., & Zhang, H. (2016). Drilling and completion challenges in high-temperature and low-pressure carbonate formations. SPE/IADC Drilling Conference.

Petronas. (2020). Real-time monitoring and response system for wellbore stability in HPHT conditions.

Technical Bulletin.

Rosneft. (2019). Predictive analytics and data-driven decision making in drilling in the Volga-Ural region. Internal Report.

Well construction characteristics in abnormal pressure zones

Truong Van Tu[1,*] , Nguyen Khac Long [1]

[1]*Hanoi University of Mining and Geolgy*

**Corresponding author: Email: truongvantuktd50@gmail.com*

Abstract

Drilling operations in formations with abnormal pressure conditions, including high abnormal pressure and low abnormal pressure, present major technical challenges in the Bach Ho field. Common incidents such as loss of circulation, borehole collapse, tool sticking, and well kick frequently occur in formations with significant pressure variation, especially at the boundary between Oligocene and Miocene layers or near geological fault zones.This paper analyzes data from wells drilled across the Northern, Central, and Southern structures of the Bach Ho field, in combination with typical well pressure profiles and casing structure diagrams, to identify high-risk zones. Based on that, the study evaluates the effectiveness of technical solutions such as multi-casing well design and the selection of drilling fluids appropriate to the pressure and geological characteristics of each formation. Furthermore, optimization of drilling pause time and well trajectory orientation is considered as part of the risk mitigation strategy. The results demonstrate that these solutions play a key role in improving safety and operational efficiency when drilling through zones with abnormal pressure conditions.

Keywords: Abnormal formation pressure; Well construction; Drilling fluid; Borehole stability; Bach Ho field.

KỶ YẾU HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC

VIETGEO 2025

TRƯỜNG ĐẠI HỌC TRÀ VINH

NGÀY 24 & 25 THÁNG 10 NĂM 2025

CHỦ ĐỀ V

TAI BIẾN ĐỊA CHẤT VÀ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG

A PERSONAL REVIEW OF LAND SUBSIDENCE STUDIES

Pham Huy Giao[1,2*]

[1]PetroVietnam University (PVU); [2]Asian Institute of Tecnology (AIT)

**Tác giả liên hệ: Email: Giaoph@pvu.edu.vn*

Abstract

Land subsidence studies in Vietnam have started since the early 1990's, and continue to be one of serious geotechnical problems to be tackled for the country's development. In this VIETGEO 2025 keynote lecture I will highlight some personal researches during the last 35 years that I have conducted in collaboration with other colleagues, a good number of whom were master and PhD graduates from AIT. Our studies covered a wide range of land subsidence-related topics including overseas lessons, hybrid causes of land subsidence (natural and man-made), effects of groundwater extraction, subsurface characterization, investigation, instrumenation and monitoring, numerical tools of settlement analysis, land subsidence prediction and mitigation measures. Some case studies of Bangkok, Hanoi, HCM City will be presented. This presentation also aims at calling a better collective research collaboration among the interested researches for a more comprehensive overview and action plan to help control and mitigate land subsidence in Vietnam in future.

Keywords: groundwater extraction, land subsidence, subsurface characterization, monitoring, numerical analysis and prediction.

1. Introduction

Land subsidence in Vietnam has been detected since the early 1990's, firstly in the Red River delta, and then in the Me Kong delta, mostly in major cities like Hanoi, Ho Chi Minh City, Can Tho and their vicinities. This hybrid geohazard (i.e., possibly caused by both natural and man-made causes) has attracted attention from and created concerns for many stakeholders in and outside Vietnam. After almost 35 years of study I strongly sense that many questions are still left to be answered and many challenges need to be solved. In this keynote lecture for VIETGEO 2025 I will highlight some personal researches that have been conducted in collaboration with other colleagues, many of them being master and PhD graduates from AIT, on range of topics including theoretical and practical lessons from abroad (say, in the SE Asia), hybrid causes of land subsidence (natural and man-made), effects of groundwater extraction, subsurface characterization, subsidence investigation, instrumenation and monitoring, numerical tools of settlement analysis, land subsidence prediction and mitigation measures. Some case studies of Bangkok, Hanoi, HCM City will be presented. This presentation, in particular, also aims at calling for a better collective research collboration among the interested researchers for a more comprehensive overview and action plan to control and mitigate land subsidence in Vietnam in future.

2. Methodology

2.1 Mathematical background of groundwater flow and land subsidence analysis

The major cause of land subsidence in fastly and extensively-developed urban areas (major cities/metropolises) is commonly a combination of the increasing loading or effetive stress due groundwater extraction-created drawdown in the pumped aquifers (hydraulic loading) and construction of major infrastructures (solid loading), presence of highly compressible soil layers (e.g., very soft to soft clays) in a multi-aquifer system with alternating sandy and clayey layers. Thus, for analysis of land subsidence one needs to couple a grondwater flow model (3D or Pseudo-3D) with a 1D consolidation model. In this presentation I only present the simple method but, yet,

good enough to solve most practical problems of land subsidence analyis for a large subsiding area caused by groudwater extraction. Some FEM codes developed by myself (Giao,1997; Giao et al., 1998; Giao et al.,1999; Giao and Ovaskaine, 2000; Giao et al.,2020 etc.) are briefly presented below:

This conventional traditional geotechnical analysis of land subsidence consists of two parts, i.e., groundwater modeling and consolidation settlement analysis. The former is to analyze groundwater flow in the pumped aquifers (sand layers), while the latter calculates the compression of the adjacent aquitards (clay layers). The mechanism of land subsidence due to ground pumping can be described as follows, i.e., drawdowns from the pumped aquifer would induce a pore pressure dissipation from the overlying and underlying clay layers, reducing the pore pressure, increasing the effective stress and, consequently, causing their individual compression and the cummulative or total settlement. The latter is the very land subsience at the study location. The drawdowns in the pumped aquifers, calculated from a groundwater model, will serve as boundary conditions for the follow-up consolidation model. The drawdowns are actually time-dependent, but for a small area like that of a well field, a pseudo-steady state flow in the pumped aquifer would reach quickly comparing to process of pore pressure dissipation from the adjacent aquitards. Therefore, in many practical situations, the drawdowns can be assumed as the fixed head boundary conditions. For a mutiaquifer system in Bangkok or a two-aquifer system in Hanoi, a quasi-3D groundwater model (Giao, 1997; Giao et al., 1999) or a 3D groundwater model like MODFLOW, Visual MODFLOW, FEFLOW, GMS, MIKE SHE, COMSOL Multiphyscs etc. can work. In practice, for a quick assessment of land subsidence, the use of a 2-D groundwater model in combination with a 1-D consolidation model would be good enough. The FEM formulation of these models are succintly explained in the following subsections.

2.1.1 FEM 2D Groundwater Model

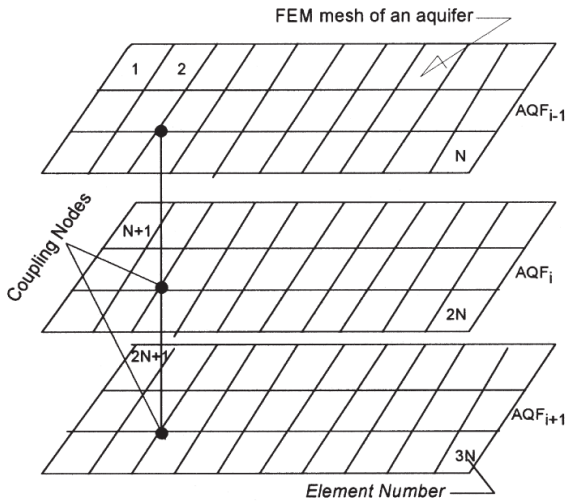


Fig.1 Schematic FEM mesh for a multiaquifer system (after Giao 1997; Giao et al.,1999)

Fig.1 shows a schematic FEM mesh for a Pseudo-3D groundwater (Giao 1997; Giao et al.,1999). In case we consider only 2D horizontal groundflow in an aquifer, its governing equation is given below

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(T_x \frac{\partial h}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(T_y \frac{\partial h}{\partial y}\right) \pm Q = S\frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

Where: h is the head in the confined pumped aquifer; T_x, T_y are the aquifer transmissivities along x & y-directions; S is the aquifer storage; Q is pumping rate (the sign is minus for discharge and plus for recharge, respectively)

The FE formulation of Eq. (1), by Galerkin's method, for a generic domain, is as follows:

$$\int_{\Omega^e}\left(T_x\frac{\partial N_k}{\partial x}\frac{\partial N_l}{\partial x}+T_y\frac{\partial N_k}{\partial y}\frac{\partial N_l}{\partial y}\right)h_k d\Omega^e+\int_{\Omega_e}SN_kN_l\left(\frac{\partial h_k}{\partial t}\right)h_k d\Omega^e-\int_{\Omega_e}QN_l d\Omega^e$$
$$-\int_{R^e}N_l\left(T_x\frac{\partial N_k}{\partial x}+T_y\frac{\partial N_k}{\partial y}\right)h_k dR^e=0 \quad (2)$$

2.1.2 FEM 1-D Consolidation Model

Terzaghi's consolidation equation is commonly found under the following form:

$$c_v\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}=\frac{\partial u}{\partial t} \quad (3)$$

Where: u is the pore pressure function; c_v is the consolidation coefficient. Applying Green's Lemma one can obtain the weak form for a generic element, which is linear in this case, as follows:

$$\int_{\Omega^e}c_v\frac{\partial N_i}{\partial z}\frac{\partial N_j}{\partial z}u_j d\Omega^e+c_vN_i\frac{\partial N_j}{\partial z}u_j\,|_{R^e}-\int_{\Omega^e}N_iN_j\frac{\partial u_j}{\partial t}d\Omega^e=0 \quad (4)$$

The second term is the flux term, which can be neglected, thus Eq. (4) becomes:

$$\int_{\Omega^e}c_v\frac{\partial N_i}{\partial z}\frac{\partial N_j}{\partial z}u_j d\Omega^e-\int_{\Omega^e}N_iN_j\frac{\partial u_j}{\partial t}d\Omega^e=0 \quad (5)$$

2.1.3 Calculation of time-dependent compression or consolidation settlement

Calculation of primary consolidation of a clay layer due to pore pressure change which has been induced by the drawdown in the underlying aquifer can be done as follows, and namely, the compressible layer, which is overlying the aquifer, is divided into a number of sub-layers of small thickness, e.g., 1 or 2.0 m. The pore pressure change inside the compressible layer due to pumping can be calculated by a FEM 1-D consolidation model, using TZP program developed by Giao (1997). Based on the pore pressure change, the compression of each sub-layer can be calculated using the relationship given below:

$$dS_C(z,t)=b_i.[RR(z).\log\frac{P_c'(z)}{\sigma'_{v0}(z)}+CR(z).\log\frac{\sigma'_{v0}(z)+\Delta u(z,t)}{P_c'(z)} \quad (6)$$

The primary consolidation of a clay layer consisting of n sub-layers is as follows:

$$S_C(t)=\sum_{z=1}^{n}dS_c(z,t) \quad (7)$$

Where: $dS_C(z,t)$ is the consolidation settlement of the sub-layer at z depth, time t; $S_C(t)$ is the total consolidation settlement of the whole clay layer at time t; b_i is the thickness of the considered sub-layer; $P'_c(z)$ is the preconsolidation pressure of the considered sub-layer; $\sigma'_{vo}(z)$ is the effective stress of the considered sub-layer; $\Delta u(z,t)$ is the dissipation of pore pressure of the considered sub-layer at time t; CR(z) is the compression ratio of the considered sub-layer; RR(z) is the recompression ratio of the considered sub-layer.

2.2 Geotechnical characterization of subsoil profile

Without properly determined soil properties one can not do neither groundwater nor land subsience analysis (Giao et al., 2020). While mathematical models for grounwater and

consolidation have been improved significantly during the last four decades the soil parameters neededforthe analyses, including hydraulic and geotechnical properties, remain to be the same difficult to be investigated and estimated by both lab and in-situ testing. This explains why quite often a combination of 2D (groundwater) + 1D (cosolidation) model would work better than a fully 3D a Pseudo3D + 1D/2D model because availability of point-based or 1D data set, while lacking of a 2D/3D data set. A lot of studies have been done to characterize the soft clay deposits in the deltaic plains of Chao Phraya, Red and Me Kong rivers as mentioned by Giao (1997), Giao et al. (1998,1999, 2006, 2020, 2023 etc.). A few typical references can be specifically listed as follows:

- Geological-geotechnical correlation of a deltaic subsoil profile and characterization of its uppermost soft marine clay deposit with reference to infrastructure development in the Saigon-Dong Nai delta, Vietnam (Giao et al., 2023).
- Geotechnical characterization and land subsidence analysis for the UMRT Line No. 3 in Hanoi (Giao et al., 2019).
- Characterization of a thick deltaic clay depsosit for port development at the Cai Mep-Thi Vai site, Southern Vietnam (Giao and Chuong, 2013).
- Soil characterization and land subsidence prediction for the first MRT line in HCM city (Giao and Thoang, 2016).
- Geotechnical characterization of the subsoil profile underlying the land subsidence monitoring points in Southern Vietnam Delta (Giao et al., 2014).
- An integrated geotechnical-geophysical investigation of soft clay at a coastal site in the Mekong delta for oil and gas infrastructure development (Giao et al., 2008).
- Geotechnical characterization of soft clay along a highway in the Red River Delta (Giao and Hien, 2007).
- Review of some methods to determine the preconsolidation pressure and applications for Mekong soft clays (Dung and Giao, 2005).
- An assessment on soil disturbance of Bangkok clay samples in relation with the intrinsic compression behaviour (Giao et al., 2004).
- Collaborative research on characterization of soft clays in Vietnam (Takemura, Giao et al., 2004)
- A computer-aided subsurface database for HCM City's groundwater and land subsidence analysis (Thoang and Giao, 2016).
- Geotechnical properties of Hai Phong and Ninh Binh Clays in the Red River Delta (Phuc and Giao, 2019).
- Sea-level related engineering geology and intrinsic compression behavior of Bangkok clays (Saowiang and Giao, 2019).
- Role of monitoring data in subsidence prediction for the MRT lines and stations in Hanoi (Giao et al., 2018).
- Python-based visualization and characterization of subsurface profile for a long-distance subway alignment in Manila (Pena, Giao et al.,2024).

An example of soil parameters needed for a consolidation/subsidence analysis are presented inTable 1 (after Giao, 2020 a,b) for the Phap Van wellfield in Hanoi, which consisted of nine individual wells by 1999 over an area of of about 0.2 km^2. The most compressible layer of soft clay is found about from 2 to 15 m deep. C_v is the consolidation coefficient that controls the rate of consolidation process, Wc (%) is water content, UW (t/m^3) is the unit weight, OCR is overconsolidation ratio, CR is the compresion ratio and RR is the recompresion ratio, respectively.

Table 1. Soil profile and assumed geotechnical parameters for consolidation analysis

Soil type	Soil description	Depth (m)	w_c (%)	UW (t/m^3)	c_v (m^2/y)	OCR	CR	RR
Top Soil	Fill, weathered clay, olive gray, oxides of iron and sand lenses	0 - 2	30.0	1.95	5	7	0.3	0.06
Silty CLAY	Soft, high water content, brown and gray color. Contains some organic matters.	2 - 15	55.0	1.60	5	1.1	0.5	0.1
Clayey SILT	Soft, dark brown color	15- 30	30.0	1.90	5	1.5	0.25	0.05
SAND (the pumped aquifer)	Medium to fine sand, gray color.							

2.3 Instrumentation and monitoring

Subsidence monitoring aims at recording three main parameters (i.e., pore pressure, individual layer compression, total settlement) is of primary importance for any land subsidence study/project, whithout which one cannot validate the results of subsidence analyis/prediction (Giao,1997; Giao et al., 2000a-d; Giao et al., 2018; 2020). So far after almost four decades of land subsidence studies in Vietnam this issue still remains totally unsatisfactory and weakest pointt that has to be improved as soon as possible. A typical layout of a land subsidence monitoring station constructed in Hanoi, based on the prototype of the Asian Institute of Technology is shown in Fig. 2 (AIT, 1981; Giao, 1997; 2000a,b):

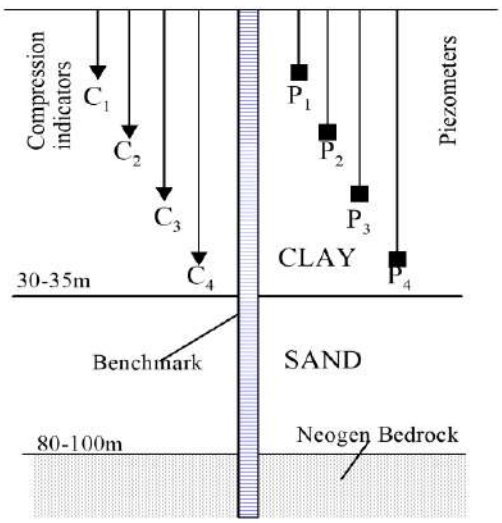


Fig.2 Layout of a subsidence monitoring in Hanoi (Giao, 2000; Giao & Ovaskainen, 2000)

3. Results and discussion

3.1 Land subsidence and artificial recharge in Bangkok

Bangkok land subsidence has been extensiely studied (e.g., AIT,1981; Nutalaya et al., 1996; Giao,1997; Giao et al., 1999; Phien-wej et al., 2006; Ishitsuka et al., 2014; Saowiang and Giao, 2013; 2019; 20121; Tungsawat and Giao; 2020 etc.). In the 1980s Bangkok is known as a sinking city due to overpumping from the underlying multiquifer system (Fig. 3):

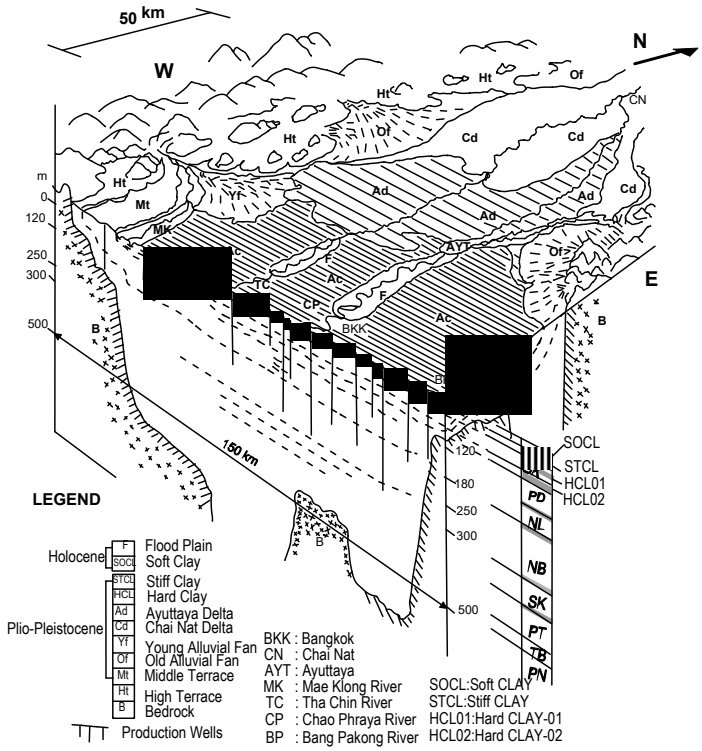


Fig.3 Bangkok multi-aquifer system

One of the most cited papers is "Land subsidence in Bangkok" by Phien-Wej, Giao* and Prinya (2006), published in the international joural of Engineering Geology, Elsevier, which wrote "*Impact of land susbidence is particularly critical because of the flat low-lying topography and the presence of a thick soft clay layer at the ground surface that augment flood risk and foundation engineering problems, respectively. The subsidence reached its most critical state in the early 1980s when it occurred at a rate as high as 120 mm/year. The rate decreased in the subsequent period but the subsidence-affected area expanded following the growth of the city. Despite various attempts implemented to remedy the crisis, groundwater pumping from the thick aquifer system underneath the city continued to increase from 1.2 million m3/day in the early 1980s to more than 2.0 million m3/day at the turn of the century. Piezometric levels in the main aquifer layers had been drawn down by as much as 65 m. Monitoring data showed a clear correlation between the subsidence and piezometric drawdown. The data suggested that for one cubic meter of groundwater pumped out in Bangkok Plain, approximately 0.10 cubic meter of ground loss occurred at the surface. Significant development has been made in numerical methods for prediction of differential settlements between building foundations caused by the piezometric drawdown in the aquifers.The strict mitigation measures adopted recently, comprising a pricing policy for groundwater management, an expansion of tap water supply, and strict enforcement of groundwater laws, have resulted in a marked drop in groundwater use. However, the land subsidence will continue for a long while owing to the time-dependent consolidation behavior of the soft clay layer and clay aquitards*.".

To mitigate land subsidence in Bangkok artificial recharge has been considered and applied (Giao,1997; Phien-Wej et al., 1998b;1999; Giao et al., 1997; 1999). Case of Bangkok proved that the most effective measure to mitigate land subsidence is to control ground water pumping. Nwadays, Bangkok is facing the problem of subsil rebound (Saowiang and Giao, 2021; Tungsawat and Giao, 2020).

3.2 Land subsidence in Hanoi, case of Phap Van well field

Hanoi city has elevations lower than water level of the Red River. Therefore the city has to be protected by a long-standing dyke system. Hanoi aquifer system is shwn in Fig. 4.

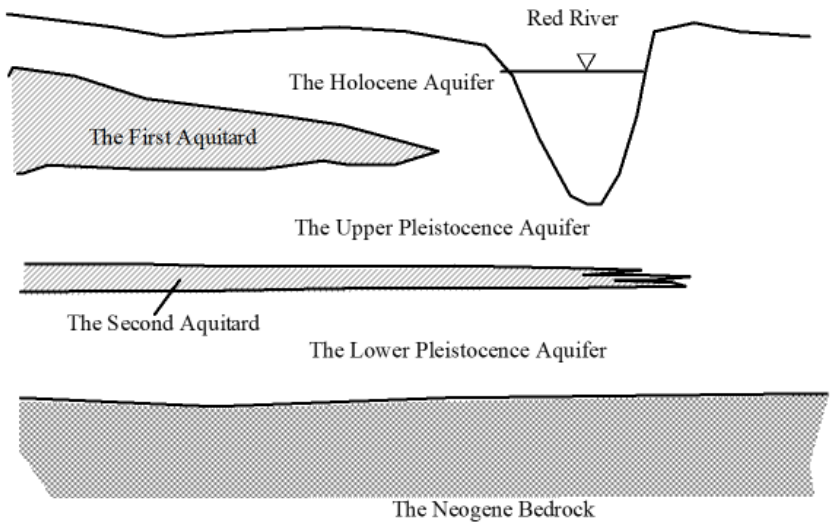


Fig 4. Hanoi city aquifer system (Giao, 2000 a,b; Giao and Ovaskainen, 2000)

In Fig. 5a, for a drawdown of 10 m (100 kPa), the surface settlement, caused by compression of the whole soil column from the ground surface to the 30 m, was calculated for c_v equal to 1, 5, 10 and 15 m^2/y. For a c_v of 5 m^2/y, the 90% consolidation time reduced drastically to just about 30 years. For higher c_v of 10 or 15 m^2/y, the 90% consolidation time is about 15 to 20 years. On the effect of groundwater pumping, consolidation analyses with three drawdowns of 10, 15 and 20 m in the pumped aquifer were conducted. These served as boundaries conditions of the consolidation problem, which correspond to three hydraulic loadings of 100, 150 and 200 kPa, respectively. The results are shown in Fig.5b.

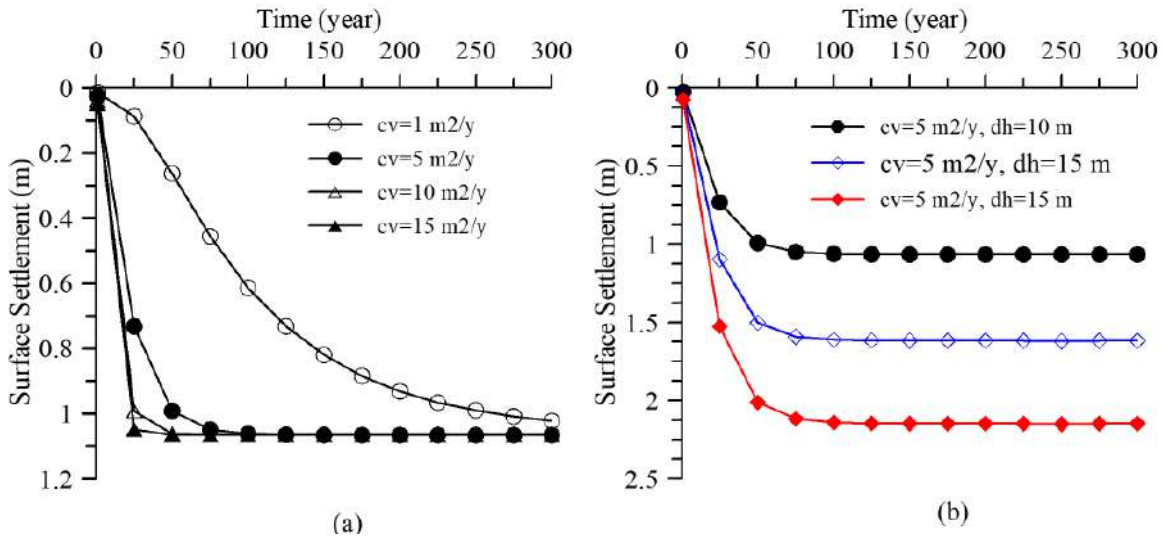


Fig 5. Resuls of time-dependent consolidation settlementanalyses with varying Cv: a) for a drawdown of10m (100kPa); b) for drawdowns of 10,15 and 20m (100, 150 and 200 kPa)

3.3 Land subsidence in HCM City

In their research of "*Subsurface characterization and prediction of land subsidence for HCM City, Vietnam*", Thoang and Giao (2016) conducted a detailed subsoil characterization and landsubsidence analysis for the first MRT line from Ben Thanh to SuoiTien in HCMCity that depicted "The demands of domestic and industrial water supply in Ho Chi Minh City have surged rapidly since 1990s. In the same time groundwater extraction has continuously increased and is suspected to have caused land subsidence. Only a few monitoring stations have been installed, and both pore pressure and settlement observation data are not yet available. As an alternative, we

proposed an approach to estimate land subsidence based on the available data of groundwater drawdown in the pumped aquifer and geotechnical properties of the adjacent clay layers. In this study, a large amount of borehole data were collected to construct a computer-based subsoil database. As results a complete characterization of a six-aquifer system up to 360 m deep and that of the shallower subsoil profile up to 140 m deep were done based on data from more than 3,000 boreholes . Examples of land subsidence prediction were done for three cases, i.e.: (i) at a borehole location that has sign of well protrusion; (ii) along the new MRT line no. 1; and (iii) over a profile crossing the city from NW to SE".

Case sudy of the MRT line No.1 in HCM City: "In the transport development plan for Ho Chi Minh City six MRT lines are planned to be constructed by 2020, for which the effect of land subsidence due to groundwater extraction has to be considered. Construction of MRT line 01 has already started in 2010 and is expected to be completed in 2018. The line is of 19.59 km long with the first segment of 2.26 km underground (from Ben Thanh to Bason stations) and a second segment of 17.33 km elevated section (from Bason to Suoi Tien stations) as plotted in Fig. 6a, in which the drawdown in the 2nd aquifer is also shown. The subsoil profile is shown in Fig. 6b. The drawdown profile and land subsidence predicted along this MRT line are shown in Fig. 6c, which indicate that for the first underground section from Km. 0.0 to 2.0 the total subsidence could reach 0.5 m after 20 years corresponding to an average rate of 2.5 cm/y; for the initial part of the elevated segment from Km. 2.0 to 8.00 the maximum subsidence could reach 0.8 m after 40 years with an average rate of 2.0 cm/y; and for the remained part of elevated section from Km. 8.00 to the end of the MRT line the maximum subsidence could reach 0.1 m after 10 years with an average rate of 1.0 cm/y. It is clear that the magnitude and rate of the subsidence along the MRT line no. 1 depend very much on the drawdown in the pumped aquifer (the second aquifer) and, in particular, thickness of the soft clay layer. A special attention should be paid to the junction zone between the underground and elevated train section at around Km. 2.0, where there is a big change in the soft clay layer thickness, and consequently a significant differential settlement will occur. Similarly, effect of a long-term settlement along the elevated segment from Km. 2.00 to 8.00 has to be taken into account in pile foundation design for this MRT line."

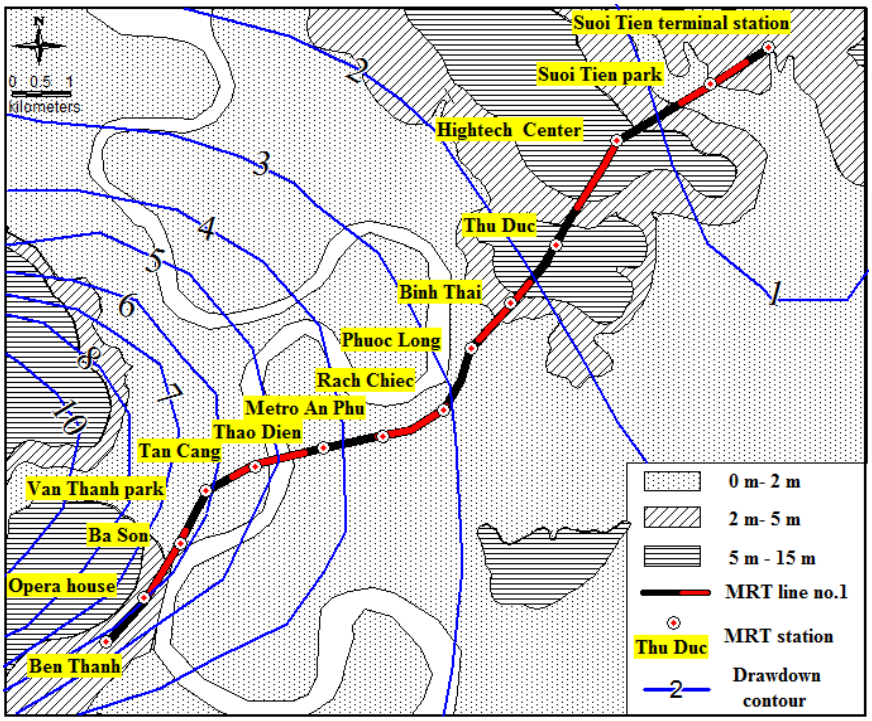


Fig.6a Location of the MRT line no.1

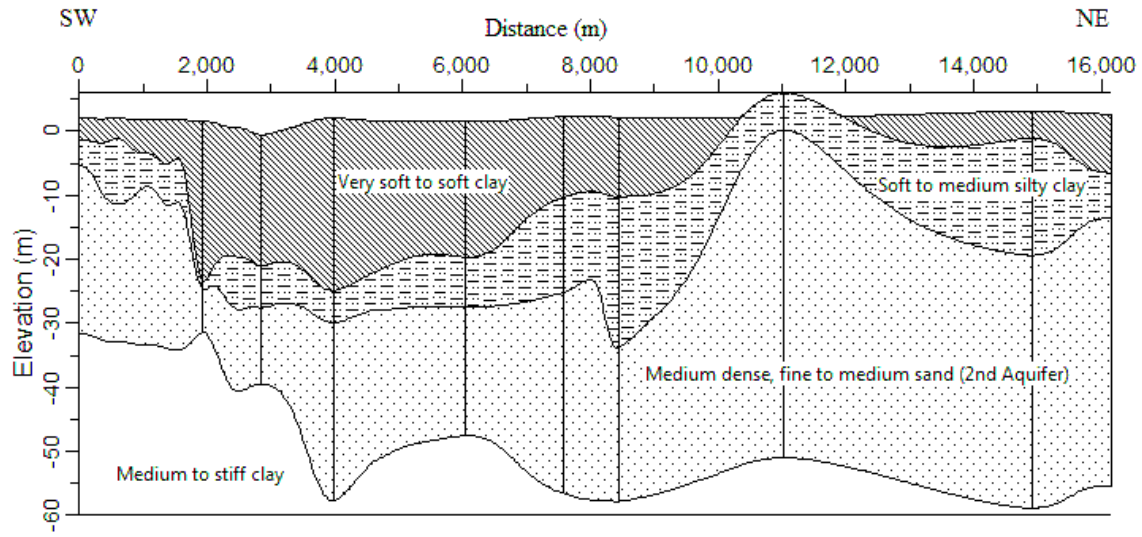


Fig.6b Soil profile along the MRT line no.1, HCM city

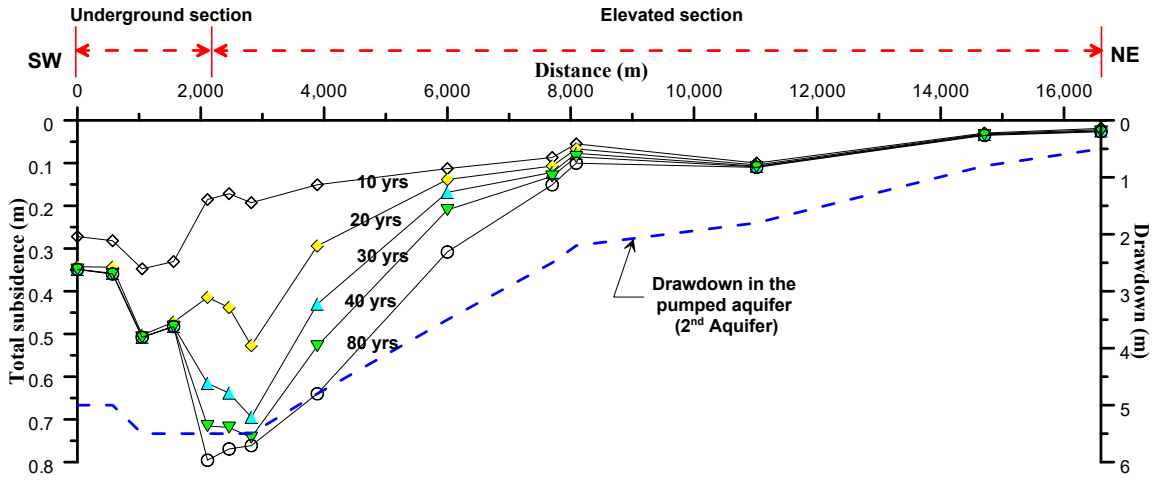


Fig. 6c Prediction of subsidence along the MRT line no.1, HCM city (Thoang and Giao, 2016)

4. Conclusions and recomendations

1) Land subsidence investigation and study have started in Vietnamsince 1990s, starting from Hanoi city and continues for HCMCity, Can Tho city and the vicinity areas by both overseas and domestic researchers. Among four key issues of a land subsidence study, i.e., subsoil characterization, groundwater monitoring, numerical analysis tools, land subsidence monitoring, the latest one remains a weakpoint that needs to be improved.

2) While the numerical tools are available and good enough for the moment, further researches on application of AI, ML and PINN (Giao and Hien, 2024) need to be promoted, taking into account the strongly going on process of digital trasformation in Vietnam (Giao, 2020).

3) Modern techniques like PSINSAR and GNSS need to be better promoted and implemented for land subsidence monitoring and analysis in Vietnam over large areas in the Red River and MeKong deltaic plains.

5. Acknowledements

Sincere thanks and appreciations go to all of colleagues and former graduate students at Petro Vietnam University (PVU), Vietnam; the Asian Institute of Technology (AIT), Thailand; and Dong A University, South Korea, who have worked closely with me on the researches of subsurface computation, geotechnical soil characterization, land subsidence, artificial recharge etc.

During a time span of more than 30 years. Acknowledemnts are due to various research funds such as IRDC (Canada), JICA (Japan), Royal Thai Government (RTG)'s Reseach Fund, Korean Government, EC (European Commission), NAFOSTED (Vietnam).

References

AIT (1981). Investigation of Land Subsidence Caused by Deep Well Pumping in the Bangkok Area, Comprehensive Report 1978-1981, Research Report No. 81, AIT, Bangkok, Thailand.

Giao, P.H., Hien, D.H. (2024), Calculation of Pore Pressure Dissipated from a Clay Layer Due to Groundwater Extraction Using Physics-Informed Neural Network (PINN) with Reference to Land Subsidence Analysis, *Lecture Notes in Civil Engineering, 395, pp. 2229-2236.* Springer.

Giao P. H., T. T. Thoang, H.Hiep, D. H. Hien, and N.T. Dung (2023), Geological-geotechnical correlation of a deltaic subsoil profile and characterization of its uppermost soft marine clay deposit with reference to infrastructure development in the Saigon-Dong Nai delta, Vietnam, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 82(12), DOI: 10.1007/s10064-023-03461-4*, Springer.

Giao P. H. , N. T. Hieu and N. Phien-Wej (2023), Ground movements induced by shield tunnelling in sand layers, Ho Chi Minh City mass rapid transit Line 1, *Geomechanik und Tunnelbau (Journal of Geomechanics and Tunneling)*, *June 2023*, Austria.

Giao P.H., Nguyen, P.H. (2022). Porosity. In: Daya Sagar, B.S., Cheng, Q., McKinley, J., Agterberg, F. (eds) *Encyclopedia of Mathematical Geosciences. Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-26050-7_252-1.

Giao P. H. (2021) An Overview on Studies of Land Subsidence in the Southern Delta of Vietnam, Keynote Lecture, *EAGE Conference: 4th Asia Pacific Meeting on Near Surface Geoscience & Engineering*, Dec. 2021, HCM City, Vietnam.

Giao P. H., Saowiang K.and N. T. Hai Anh (2020), The Role of Groundwater and Land Subsidence Analyses for Sustainable Development of Infrastructure in Some SE Asian Cities, DOI: 10.1007/978-3-030-61118-7_7, *In book: Critical Thinking in the Sustainable Rehabilitation and Risk Management of the Built Environment,* Springer.

Giao P. H. (2020), Chuyển đổi số: Bản chất, thực tiễn và ứng dụng (Digital Transformation: Theory, Practice and Application), *PetroVietnam Journal 2020 (12), p. 12-16*, ISSN 2615-9902, https://doi.org/10.47800/PVJ.2020.12-02.

Giao P. H., V. T. Hue, T. D. Han, N. T. Hai Anh and N. N. Minh (2020), Land Subsidence Prediction for a new UMRT line in Hanoi, *Underground Space, 5(2), pp. 93-104*, https://doi.org/ 10.1016/j.undsp.2018.11.002, Elsevier.

Giao P. H., Nguyen Thi Hai Anh and Hoang Ngoc Khai (2019), Geotechnical Characterization and Land Subsidence Analysis for the UMRT Line No.3 in Hanoi, DOI: 10.1007/978-981-15-2184-3_36, *In book: Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development*, Springer.

Giao P. H., Nguyen Minh Son, Nguyen Thi Hai Anh, and Nguyen Ngoc Minh (2018), Role of monitoring data in subsidence prediction for the MRT lines and stations in Hanoi, *In book: Proc. of Intl'. Conf. on Sustainability in Civil Engineering*, 24-25 November, 2018, Hanoi, Vietnam.

Giao P. H. and N. H. Chuong (2013), Characterization of A Thick Deltaic Clay Depsosit For Port Development At The Cai Mep-Thi Vai Site, Southern Vietnam, pp. 793-800, *Proc. 18th Southeast Asian Geotechnical Conference (18SEAGC) & Inaugural AGSSEA Conference (1AGSSEA)*, Ed. by C. F. Leung, S. H. Goh and R. F. Shen, Research Publishing, Singapore.

Giao P. H. & T. T. Thoang (2016), Soil Characterization and Land Subsidence Prediction for the First MRT Line in HCM City, *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA Vol. 47 No. 1 pp. 26-31, ISSN 0046-5828*.

Giao P. H., T. T. Thoang, L. X. Thuyen and N. H. H, Vu (2014), Geotechnical Characterization of the Subsoil Profile Underlying the Land Subsidence Monitoring Points in Southern Vietnam Delta, *Proc. of the 9th Intl' Symp. on Lowland Technology "Problems and Remedy measures of Lowland"*, pp.429-436, Sept 29 to Oct. 3, 2014, Saga University, Saga, Japan.

Giao P. H., N. T. Dung and P. V. Long (2008) An Integrated Geotechnical-Geophysical Investigation of Soft Clay at a Coastal Site in the Mekong Delta for Oil and Gas Infrastructure Development, *Canadian*

Geotechnical Journal, 11, vol. 45, p. 1525-1537.

Giao P. H. and D. H. Hien (2007), Geotechnical Characterization of Soft Clay along a highway in the Red River Delta, *Lowland Technology International, Vol. 9 (1), p. 18-27*, IALT.

Giao P. H., N. Phien-wej N. and H. Tanaka (2004), An Assessment on Soil Disturbance of Bangkok Clay Samples in relation with the Intrinsic Compression Behaviour, *Lowland Technology International, Vol. 6 (2), p. 21-31*, IALT.

Giao P. H. and E. Ovaskainen (2000), Primary Analysis of Hanoi Land Subsidence with reference to Groundwater Development, *Lowland Technology International, Vol. 2 (2), p. 17-29*, IALT.

Giao P. H. (2000a), *Report on Hanoi Land Subsidence*, submitted to Plancenter Ltd., Finland, and Hanoi Water Supply Program on Hanoi Land Subsidence Investigation, Hanoi Water Business Company.

Giao P. H. (2000b), An Assessment on Hanoi Land Subsidence Investigation, *Workshop on Groundwater Resource Protection and Monitoring of Land Subsidence, Organized by Plancenter Ltd. and Hanoi Water Business Company*, Hanoi, 25 April, 2000.

Giao P. H. (2000c), Hanoi Land Subsidence Investigation and Aspects Related to Development of an Engineering and Environmental Geology Program, *Seminar at Faculty of Geology, Hanoi National University of Science*, Hanoi, 27 April 2000.

Giao P. H. (2000d), Land Subsidence due to Groundwater Pumping and its Mitigation, Some South East Asia Experiences, *Seminar at Korean Institute of Construction Technology, KICT, Seoul, South Korea*, 27 July 2000.

Giao P. H., N. Phien-Wej and Y. Honjo (1999), FEM Quasi-3D Modelling of Responses to Artificial recharge in the Bangkok Aquifer System, *Intl' Journal of Environmental Modelling and Software 14(1999) 141-151*, Elsevier.

Giao P. H., N. Phien-wej, and P. Nutalaya (1998), Analysis of a Recharge Well Experiment, *Proc. of the 3rd Intl' Symp. on Artificial Recharge of Groundwater - TISAR 98*, Ed. by Jos H. Peters et al., pp. 447-450, Amsterdam 21-24 September 1998, Netherlands.

Giao P. H., N. Phien-wej, and Y. Honjo (1997), FEM Quasi-3D Modelling of Responses to Artificial Recharge in a Multiaquifer System, *Proc. International Congress on Modelling and Simulation, MODSIM97*, Vol. 2, pp. 591-596, Hobart, Tasmania, 8-11 December 1997. It was selected as one of the best papers to be published in the Intl' Journal of Environmental Modelling and Software 14(1999) 141-151, Elsevier.

Giao P. H. (1997), Artificial Recharge of the Bangkok Aquifer System for Mitigation of Land Subsidence, *D. Eng. Dissertation*, No. GE/96-2, Asian Institute of Technology, Bangkok, 1997

Kazuya Ishitsuka, Yo Fukushima, Takeshi Tsuji, Yasuhiro Yamada, Toshifumi Matsuoka1, and P. H. Giao (2014), Natural surface rebound of the Bangkok plain and aquifer characterization by persistent scatterer interferometry, *Geochemistry, Geophysics, Geosystem (G3) Journal*, 10.1002/2013GC005154, AGU.

Ko Ko L. M. and P. H. Giao (2021), Land Subsidence of Yangon Plain: An Overview and Preliminary Results of Consolidation Analysis, *EAGE Conference: 4th Asia Pacific Meeting on Near Surface Geoscience & Engineering*, Dec. 2021, HCM City, Vietnam. DOI: 10.3997/2214-4609.202177067.

Nutalaya P., N. Phien-wej and P. H. Giao (1996), Artificial recharge for mitigation of the Bangkok aquifer system, Final report submitted to International Development Research Centre (IDRC) of Canada. School of Civil Engineering, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand

N. T. Dung and P. H. Giao (2005), Review of Some Methods to Determine the Preconsolidation Pressure and Applications for Mekong Soft Clays, Proc. Intl' Workshop Hanoi Geoengineering 2005, Hanoi, Vietnam, p. 44-54.

Nuttawat Tungsawat and P. H. Giao (2020), Near-surface engineering geological characterization with reference to computation of land deformation along a new subway line in Bangkok, *EAGE Conference: 3rd Asia Pacific Meeting on Near Surface Geoscience & Engineering*, Nov 2020, Chiang Mai, Thailand, Volume 2020.

Peña, E.M.Z., Giao, P.H., Phien-wej, N., Luna, R.A.C. 2024), Python-Based Visualization and Characterization of Subsurface Profile for a Long-Distance Subway Alignment in Manila, *In book: Lecture Notes in Civil Engineering, 395, pp. 855-871*, Springer.

Phien-wej N., P. H. Giao* and P. Nutalaya (2006), Land Subsidence in Bangkok, Thailand, *Engineering Geology*, Vol. 82 (4), p. 187-201.

Phien-wej N.and Giao P.H. (2006), Effect of Land Subsidence on the Development of Suvarnabhumi Airport, Proc. Intl' Symp. on Geotechnical Aspects of the Second Bangkok International (Suvarnabhumi) Airport in Thailand, 15 to 16 May, 2006, Bangkok, Thailand, p. 129-146.

Phien-wej N., Giao P. H. and Thepparak S. (2005), Prediction of Differential Settlement of Buildings Induced by Land Subsidence from Deep Well Pumping, *Geotechnical Engineering Journal, April, pp. 69-75*. The Tan Seng Bengt Award's winning paper of SEAGS.

Phien-Wej N., P. H. Giao and P. Nutalaya (1999), Applicability of Artificial Recharge in the Bangkok Aquifer System, Proc. of the 11th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, pp. 427-430, Seoul '99.

Phien-wej N., P. H. Giao (1998a), Bangkok Land Subsidence Analysis with reference to Settlement of the Bangna-Bangpakong Highway, Proc. Intl'. Symp. on Lowland Technology, pp. 513-520, Saga University, Saga, Nov. 4-6, 1998, Japan.

Phien-wej N., P. H. Giao* and P. Nutalaya (1998b), Field Experiment of Artificial Recharge through a Well, *Engineering Geology*, Vol. 50, pp. 187-201, Elsevier.

Saowiang, K., Giao, P.H. (2021), Numerical analysis of subsurface deformation induced by groundwater level changes in the Bangkok aquifer system. *Acta Geotechnica*, 16, 1265-1279 (2021). https://doi.org/10.1007/s11440-020-01075-8, Springer.

Saowiang K.and P. H. Giao (2019), Sea-level Related Engineering Geology and Intrinsic Compression Behavior of Bangkok Clays, *International Journal of GEOMATE, 17 (59), pp.144-153*.

Saowiang K. & P. H. Giao (2013), An overview on the effect of groundwater recovery on subsoil structures in some megacities, Comparison of geotechnical properties of soft clays at different sites in Mekong delta, *Proc. EIT-JSCE Joint Intl' Symp. on International Human Resource Development for Disaster-resilient Countries*, Sept. 12-13, 2013, Imperial Queen's Park Hotel, Bangkok, Thailand.

Takemura J., Y. Watabe, M. Tanaka, B. T. Man, L. T. Hanh, P. H. Giao, C. N. Sung, D. C. Thuan, N. H. Thanh and T. H. Hung (2004), Collaborative Research on Characterization of Soft Clays in Vietnam. *Proc. Intl' Workshop - Hanoi Geoengineering 2003-2004*, p. 5-16, Vietnam National University Publishing House, Hanoi.

Thoang T. T. and P. H. Giao (2016), A computer-aided subsurface database for HCM City's groundwater and land subsidence analysis, *Proc. Intl. Conf. Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development*, p. 519-524, 24-25 September, 2016. Construction Publishing House, Hanoi, Vietnam.

Thoang T. T. & P. H. Giao (2015), Subsurface characterization and prediction of land subsidence for HCM city, Vietnam, *Engineering Geology, 199 (2015): 107-214,* Elsevier, doi:10.1016/j.enggeo.2015.10.009.

Tran Thi Phuc and P. H. Giao (2019), Geotechnical Properties of Hai Phong and Ninh Binh Clays in the Red River Delta, Proceedings of Geotech Hanoi 2019,, DOI: 10.1007/978-981-15-2184-3_98, *In book: Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development*, Springer.

NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ SẠT LỞ VÀ BIỆN PHÁP BẢO VỆ TALUY ĐƯỜNG ĐOẠN QUA XÃ XUÂN LONG, HUYỆN ĐỒNG XUÂN, TỈNH PHÚ YÊN

Võ Thanh Toàn[1], Nguyễn Thanh Danh[1], Nguyễn Văn Hải[1], Nguyễn Thành Sơn[1,*]

[1]Trường Đại học Xây dựng Miền Trung

**Tác giả liên hệ: Email: nguyenthanhson@muce.edu.vn*

Tóm tắt

Sạt lở mái dốc trở nên phổ biến hơn vì sự biến đổi khí hậu ngày càng rõ rệt cùng với sự can thiệp quá mức của con người vào thiên nhiên. Một trong những nguyên nhân gây ra sạt lở mái dốc trên thế giới cũng như ở Việt Nam đó là ảnh hưởng của lượng mưa. Để xác định nguyên nhân cũng như cơ chế của quá trình sạt lở mái dốc do ảnh hưởng bởi lượng mưa, nghiên cứu này thực hiện việc khảo sát Địa kỹ thuật để tìm ra đặc tính cơ lý của nền đất tại khu vực xảy ra sạt lở. Trên cơ sở các dữ liệu được thu thập, phân tích và tính toán, phương pháp phần tử hữu hạn được sử dụng để mô phỏng quá trình thấm của nước mưa đến sự phân bố áp lực nước lỗ rỗng khác nhau trong đất nền. Sau đó, phương pháp cân bằng giới hạn được áp dụng để xác định hệ số an toàn và cơ chế phá hủy của mái dốc, từ đó tìm ra nguyên nhân gây sạt lở mái dốc (taluy đường). Kết quả nghiên cứu cho thấy, với cường độ mưa đạt giá trị cực đại, hệ số an toàn giảm một cách đáng kể, mái dốc xảy ra sạt lở là do nước mưa thấm vào trong mái dốc làm tăng áp lực nước lỗ rỗng, làm giảm cường độ của đất nền và làm cho đất nền mất khả năng chịu tải. Bên cạnh đó, nghiên cứu này cũng đề xuất biện pháp bảo vệ và kiểm chứng an toàn taluy đường trên cơ sở thực thi các mô phỏng một cách hiệu quả nhất.

***Từ khóa**:* Phân tích ổn định mái dốc, cường độ mưa, phương pháp phần tử hữu hạn, phương pháp cân bằng giới hạn, biện pháp bảo vệ taluy đường.

1. Tổng quan về trượt lở mái dốc

Trượt lở đất trên mái dốc là một dạng của tai biến địa chất, thực chất đó là quá trình dịch chuyển trọng lực các khối đất cấu tạo mái dốc từ trên xuống phía dưới chân mái dốc do tác động của các nguyên nhân khác nhau (trọng lượng bản thân khối đất trượt, tải trọng ngoài, áp lực thủy tĩnh, áp lực thuỷ động, lực địa chấn, mưa và các hoạt động kinh tế, xây dựng của con người,...) làm biến đổi tính chất cơ lý của đất đến mức làm mất ổn định mái dốc.

Hiện tượng trượt lở mái dốc chủ yếu do nước mưa ngấm vào mái dốc đã được nghiên cứu phổ biến trong địa kỹ thuật xây dựng và địa kỹ thuật môi trường. Nước mưa ngấm vào mái dốc làm thay đổi áp lực nước lỗ rỗng và khả năng thấm của đất là hai yếu tố quan trọng nhất gây ra sự mất ổn định mái dốc (Gasmo, 2000; Cho, 2001; Rahardjo, 2002, 2011; Tsaparas, 2002; Collins, 2004; Callvello, 2008). Mặc dù tầm quan trọng của nước mưa ngấm và tính thấm của đất gây mất ổn định mái dốc đã được thừa nhận rộng rãi. Tuy nhiên, nhiều nghiên cứu cho rằng những phương pháp thông thường dựa vào giả thuyết ứng xử của đất bão hòa để thiết kế, xây dựng mái dốc đất bão hòa là không phù hợp. Phân tích ổn định mái dốc nên xem xét theo trạng thái động bao gồm những thay đổi môi trường gần mặt đất (mưa, thoát bốc hơi) thay vì phân tích tĩnh như thông thường. Vì vậy, phân tích ổn định mái dốc cần thiết phải xem xét trong một hệ thống đất không bão hòa - bão hòa và đất bão hòa xem như trường hợp đặc biệt của đất không bão hòa. Phần không bão hòa tồn tại áp lực nước lỗ rỗng âm, phần bão hòa tồn tại áp lực nước lỗ rỗng dương. Các nguyên lý của cơ học đất không bão hòa nên được áp dụng để đánh giá ổn định mái dốc cho đúng thực tế. Phân tích ổn định mái dốc đất không bão hòa đòi hỏi sự phân tích thấm chi tiết và bao quát, bởi vì sự phá hủy mái dốc trong điều kiện đất không bão hòa liên quan chặt chẽ với lượng mưa và lượng nước mưa ngấm vào mái dốc.

Vì vậy, nghiên cứu này dựa trên việc khảo sát địa kỹ thuật để tìm ra đặc tính của nền đất tại khu vực xảy ra sạt lở do ảnh hưởng của lượng mưa. Để xác định nguyên nhân cũng như cơ chế của quá trình sạt lở mái dốc đoạn từ Km54+040 đến Km54+260, tuyến Quốc lộ 19C, tỉnh Phú Yên, các phương pháp đánh giá ổn định mái dốc được đề xuất. Trên cơ sở các dữ liệu được thu thập và tính toán, các phương trình số khác nhau được sử dụng để mô phỏng ảnh hưởng của mưa đến sự phân bố ứng suất trong và cơ chế giảm cường độ của đất nền. Sau đó phương pháp cân bằng giới hạn và phương pháp phần tử hữu hạn được áp dụng để xác định hệ số an toàn và cơ chế phá hủy của mái dốc từ đó tìm ra nguyên nhân gây sạt lở mái dốc. Kết quả nghiên cứu sẽ cung cấp các dữ liệu ban đầu cho việc thiết kế các công trình bảo vệ mái dốc một cách hiệu quả nhất.

2. Cơ sở lý thuyết tính toán ổn định mái dốc ảnh hưởng bởi lượng mưa

2.1 Đường cong đặc trưng đất - nước (SWCC)

Để xác định sự thay đổi áp lực nước lỗ rỗng âm (độ hút dính) cần thiết lập mối quan hệ giữa độ ẩm và độ hút dính. Mối quan hệ này được gọi là đường cong đặc trưng đất-nước (Soil-water characterictis curve - SWCC) và được dùng phổ biến trong lĩnh vực cơ học đất không bão hòa. Đường cong SWCC thường được biểu diễn dưới dạng mối quan hệ giữa độ bão hòa, độ ẩm trọng lượng hoặc độ ẩm thể tích với độ hút dính (Hình 1). Khả năng thấm nước và sức chống cắt của đất không bão hòa là một hàm của độ hút dính. Do đó, đường cong SWCC được sử dụng để dự đoán hàm thấm và hàm cường độ kháng cắt của đất không bão hòa. Đường cong SWCC có thể được xác định theo phương pháp đo đạc thực nghiệm trong phòng, hiện trường hoặc được dự đoán trên cơ sở sự phân bố kích thước hạt cho các loại đất khác nhau.

2.2 Hàm thấm thủy lực

Trong đất bão hòa, hệ số thấm là hàm của hệ số rỗng và thường giả thiết là hằng số khi phân tích các bài toán thấm. Trong đất không bão hòa, hệ số thấm là hàm của hệ số rỗng và độ ẩm của đất. Thay đổi hệ số rỗng trong đất không bão hòa là nhỏ và ảnh hưởng của nó đến hệ số thấm không đáng kể. Tuy nhiên, ảnh hưởng của sự thay đổi độ ẩm có ý nghĩa quyết định hơn. Do đó, hệ số thấm thường được xem là một hàm riêng của độ ẩm thể tích (θ_w). Sự thay đổi độ hút dính (u_a - u_w) làm biến đổi độ ẩm thể tích, quan hệ này biểu diễn dưới dạng đường cong SWCC. Vì vậy, hàm thấm của đất không bão hòa thể hiện mối quan hệ giữa hệ số thấm và độ hút dính (Hình 2). Hàm thấm có thể xác định trực tiếp từ các thiết bị đo thấm, gọi là thí nghiệm thấm. Dựa vào đường cong SWCC, hàm thấm thủy lực cũng có thể xác định gián tiếp theo các mô hình thống kê và từ các phương trình thực nghiệm. Độ chính xác của hàm thấm phụ thuộc vào đường cong SWCC và phương pháp áp dụng.

2.3 Thấm không ổn định trong đất không bảo hòa

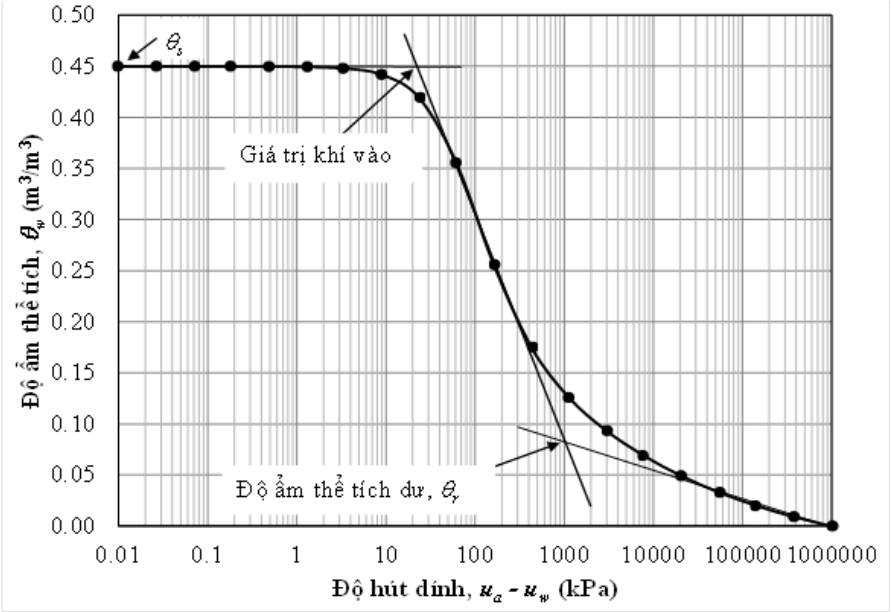
Thấm trạng thái không ổn định, hệ số thấm thay đổi theo thời gian tại mỗi điểm trong đất. Trong đất không bão hòa, do các biến đổi theo không gian của độ hút dính nên hệ số thấm cũng biến đổi theo không gian (không đồng nhất). Một điểm có độ hút dính cao (độ ẩm thấp) sẽ có hệ số thấm nước nhỏ hơn điểm có độ hút dính thấp. Hệ số thấm tại các điểm khác nhau trong đất nhận được từ hàm thấm. Độ lớn của hệ số thấm phụ thuộc vào độ hút dính (độ ẩm).

Dòng thấm nước diễn ra trong mặt cắt ngang mái dốc là dòng thấm hai hướng. Mặt cắt ngang mái dốc chia làm hai đới bão hòa và không bão hòa bởi mặt nước ngầm tự do. Các phân tích thấm giả thiết dòng nước thấm xảy ra trong cả đới bão hòa và không bão hòa do tác dụng của thế truyền động cột nước thủy lực. Phương trình đạo hàm riêng chủ đạo cho dòng thấm hai hướng, không ổn định như sau (Fredlund và Rahardjo, 1993).

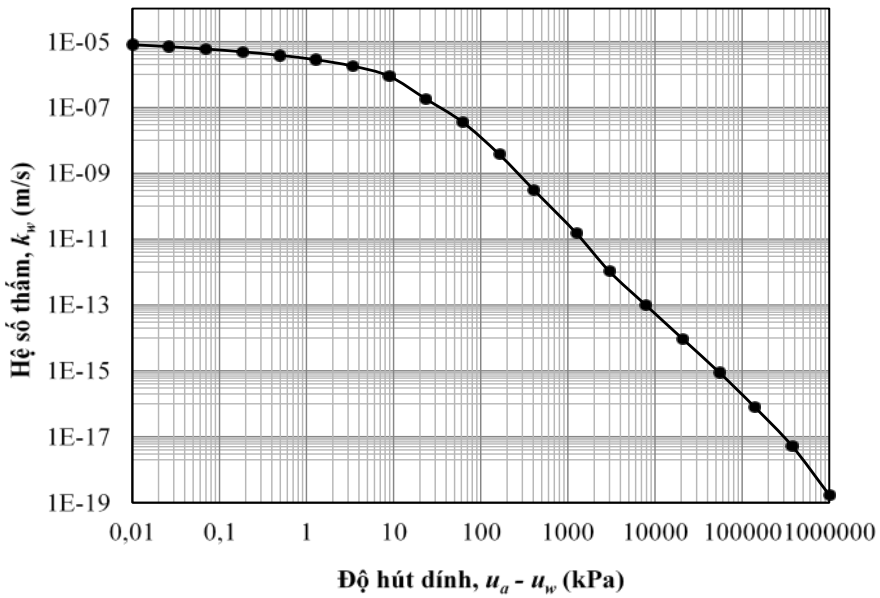
$$\frac{\partial}{\partial x}\left(k_{wx}\frac{\partial h_w}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(k_{wy}\frac{\partial h_w}{\partial y}\right)+q=m_w^2\gamma_w\frac{\partial h_w}{\partial t} \quad (1)$$

$$h_w = z + \frac{u_w}{\gamma_w} \quad (2)$$

Trong đó, h_w: cột nước thủy lực; z: cao độ cột nước; u_w: áp lực nước lỗ rỗng; γ_w: dung trọng của nước; k_{wx}, k_{wy}: hệ số thấm nước là một hàm của độ hút dính (u_a - u_w) theo hướng x, y; $\partial h_w/\partial x$, $\partial h_w/\partial y$: gradien cột nước thủy lực theo hướng x, y; q: lượng nước mưa ngấm qua biên bề mặt; m_w^2: độ dốc của đường cong đặc trưng đất-nước; t: thời gian trôi qua.



Hình 1. Đường cong đặc trưng đất-nước (SWCC)



Hình 2. Đường cong hàm thấm thủy lực

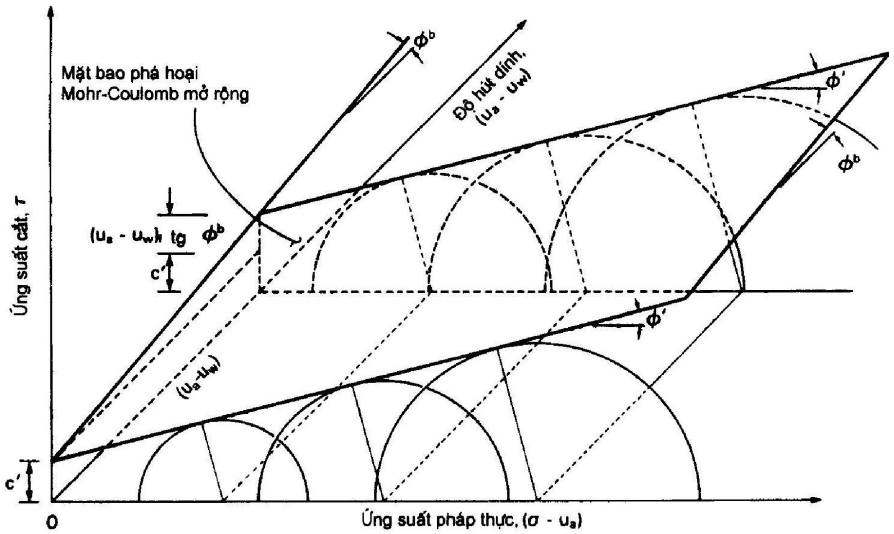
2.4 Sức chống cắt trong đất không bão hòa

Sức chống cắt của đất không bão hòa thường được xác định bằng phương trình do Fredlund và Rahardjo (1978) đề nghị theo hai biến trạng thái ứng suất pháp thực (σ - u_a) và độ hút dính (u_a - u_w) như sau:

$$\tau_{ff} = c' + (\sigma_f - u_a)_f \, tg\phi' + (u_a - u_w)_f \, tg\phi^b \quad (3)$$

Trong đó, τ_{ff}: ứng suất cắt trên mặt trượt lúc phá hủy; c': khoảng chặn của đường bao phá hoại Mohr-Coulomb "mở rộng" trên trục ứng suất cắt, ở đó ứng suất pháp thực và độ hút dính lúc phá hoại đều bằng không, nó cũng được gọi là "lực dính hiệu quả"; $(\sigma_f - u_a)_f$: ứng suất pháp thực trên mặt trượt lúc phá hủy; ϕ': góc ma sát trong liên quan với ứng suất pháp thực $(\sigma_f - u_a)_f$; $(u_a - u_w)_f$: độ hút dính trên mặt trượt lúc phá hủy; ϕ^b: góc biểu thị tốc độ tăng sức chống cắt có quan hệ với độ hút dính $(u_a - u_w)_f$.

Phương trình (3) là dạng mở rộng của phương trình sức chống cắt đất bão hòa của Mohr-Coulomb. Các vòng tròn Mohr ứng với điều kiện phá hủy có thể vẽ trên đồ thị ba chiều. Đồ thị ba chiều có ứng suất cắt τ là tung độ và hai biến trạng thái ứng suất $(\sigma - u_a)$ và $(u_a - u_w)$ là các hoành độ (Hình 3). Mặt phẳng phía trước biểu thị đất bão hòa, tại đó độ hút dính bằng không. Trên mặt phẳng phía trước, trục $(\sigma - u_a)$ đổi thành trục $(\sigma - u_w)$, vì khi bão hòa, áp lực nước lỗ rỗng sẽ bằng áp lực khí lỗ rỗng. Vì vậy, phương trình sức chống cắt đất không bão hòa có một sự chuyển tiếp êm trơn tới phương trình sức chống cắt đất bão hòa.



Hình 3. Mặt bao phá hoại Morh-Coulomb mở rộng cho đất không bão hòa

2.5 Tính toán ổn định mái dốc do ảnh hưởng bởi lượng mưa

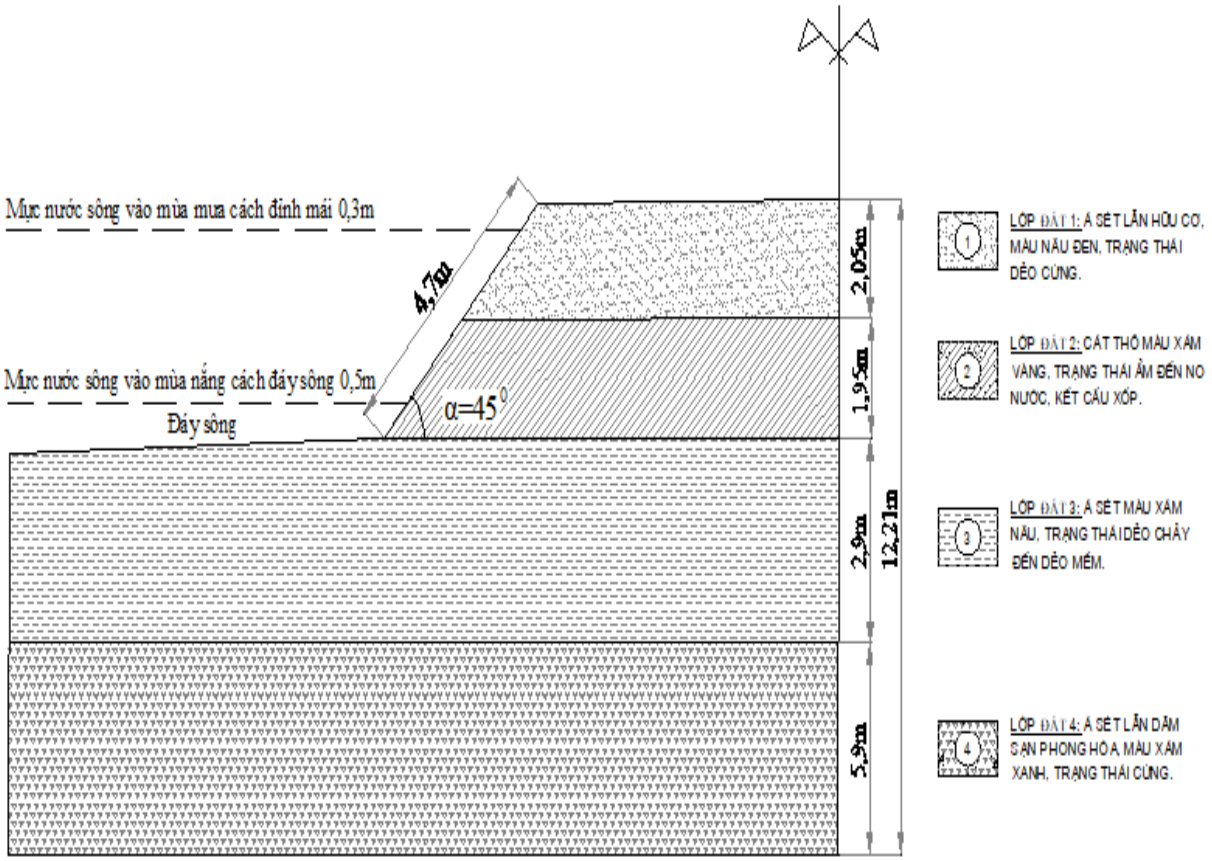
Cường độ mưa và tính thấm của đất được xem như các thông số quan trọng ảnh hưởng đến quá trình ngấm nước vào mái dốc, làm tăng áp lực nước lỗ rỗng trong mái dốc suốt quá trình mưa diễn ra và kết quả là giảm tính ổn định của mái dốc. Phân tích thấm nhằm tính toán sự thay đổi áp lực nước lỗ rỗng trong mái dốc đất không bão hòa - bão hòa do mưa. Đường cong SWCC và hàm thấm thủy lực được sử dụng kết hợp với phương trình (1) để xác định sự thay đổi áp lực nước lỗ rỗng trong đất. Trong nghiên cứu này, phương pháp phần tử hữu hạn được sử dụng để mô phỏng quá trình thấm không ổn định trong mái dốc bởi mô đun SEEP/W của bộ phần mềm GeoStudio 2012. Sự thay đổi áp lực nước lỗ rỗng theo thời gian do ảnh hưởng bởi cường độ mưa có được từ phân tích thấm được tích hợp vào mô đun SLOPE/W để xác định hệ số an toàn của mái dốc theo các phương pháp cân bằng giới hạn khác nhau.

3. Phân tích tính toán ổn định mái dốc khu vực sạt lở

Với lượng mưa kéo dài vào mùa mưa năm 2022, ngày 13/11/2022, đoạn đường đi qua QL.19C tại Km54+020 đã xảy ra sạt lở như được thể hiện như Hình 4. Trên cơ sở khảo sát và thực hiện công tác đo đạc tại hiện trường, mái dốc có chiều dài 4,7m với góc dốc 45^0 bao gồm 4 lớp đất từ trên xuống dưới được xác định như sau: lớp á sét lẫn hữu cơ màu đen trạng thái dẻo cứng có chiều dày 2,05m (Lớp 1); lớp cát thô màu xám vàng trạng thái ẩm đến no nước, kết cấu xốp có chiều dày 1,95m (Lớp 2); lớp á sét màu xám nâu, trạng thái dẻo chảy đến dẻo mềm có chiều dày 2,9m (Lớp 3); lớp á sét lẫn dăm sạn phong hóa, màu xám, trạng thái cứng có chiều dày 5,9m (Lớp 4).

Toàn bộ mái dốc có chiều dày 12,21m có mực nước sông vào mùa khô cách đáy sông 0,5m và cách đỉnh mái dốc 0,3m vào mùa mưa như được xác định bởi Hình 5 được sử dụng để mô phỏng hình thái của mái dốc cho việc đánh giá ổn định và nguyên nhân xảy ra sạt lở.

Hình 4. Vị trí mái dốc sạt lở



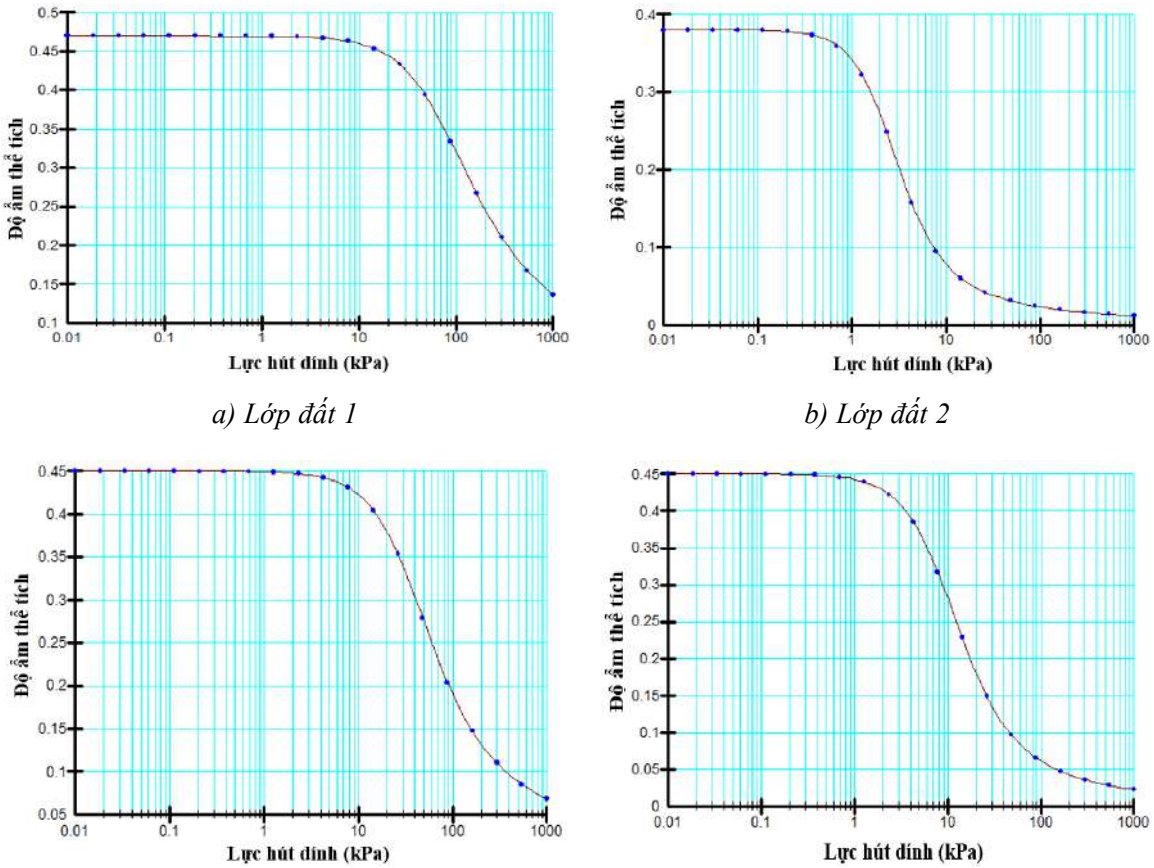
Hình 5. Mặt cắt đứng mái dốc tại khu vực nghiên cứu

Dựa vào kết quả khảo sát hiện trường và kết quả trong phòng thí nghiệm, các chỉ tiêu cơ lý của các lớp đất được tổng hợp trong Bảng 1 được sử dụng như là thông số đầu vào để tính toán, đánh giá ổn định mái dốc và xác định nguyên nhân sạt lở trong nghiên cứu này.

Bảng 1. *Tổng hợp chỉ tiêu cơ lý của các lớp đất tại khu vực sạt lở*

STT	Lớp đất	Tên lớp đất	Chiều dày lớp đất (m)	Lực dính c (kN/m^2)	Góc ma sát trong ϕ (^{0})	Tỷ trọng Δ	Hệ số thấm (m/s)
1	Lớp đất 1	Á sét lẫn hữu cơ, màu nâu đen, trạng thái dẻo cứng	2,05	27,3	$14^044'$	2,71	$5,0x10^{-9}$
2	Lớp đất 2	Cát thô màu xám vàng, trạng thái ẩm đến no nước, kết cấu xốp	1,95	0	$27^045'$	2,66	$3,69x10^{-1}$
3	Lớp đất 3	Á sét màu xám nâu, trạng thái dẻo chảy đến dẻo mềm	2,90	14,8	$10^019'$	2,7	$4,0x10^{-9}$
4	Lớp đất 4	Á sét lẫn dăm sạn phong hóa, màu xám xanh, trạng thái cứng	5,90	30,5	$19^014'$	2,72	$1,0x10^{-9}$

Để có thể mô phỏng dòng thấm cho các lớp đất trên và dưới mực nước ngầm, các thông số về đường cong quan hệ đất - nước (Soil Water Characteristic Curve - SWCC) phải được xác định. Dựa vào kết quả xác định thành phần hạt của lớp đất và sử dụng phương pháp của Fredlund và Xing (1994), đường cong quan hệ đất - nước (SWCC) cho lớp đất như được thể hiện trong Hình 6.



a) Lớp đất 1 *b) Lớp đất 2*

c) Lớp đất 3 *d) Lớp đất 4*

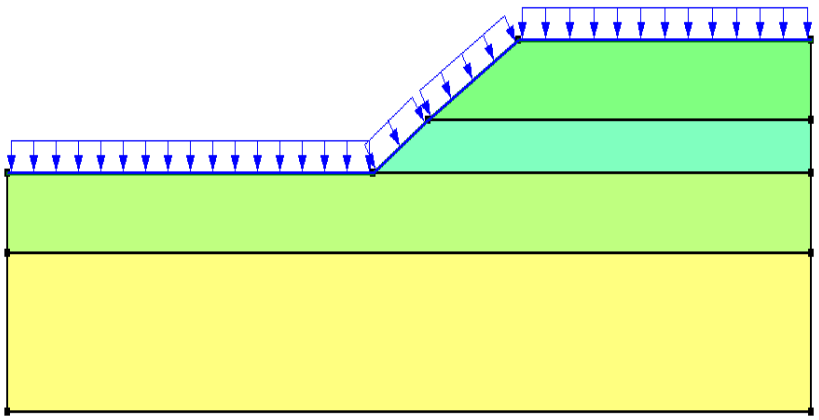
Hình 6. Đường cong qua hệ đất-nước (SWCC) cho các lớp đất

Để mô phỏng tính toán ổn định và xác định được nguyên nhân gây ra sạt lở, một trong những yếu tố đó là lượng mưa thấm vào trong đất của mái dốc. Trong nghiên cứu này, lượng mưa được thu thập trên hệ thống đo mưa chuyên dùng của Sở Nông nghiệp và phát triển nông thôn tỉnh Phú Yên tại trạm do mưa Xuân Lãnh từ ngày 07/11/2022 đến ngày 27/11/2022 được thể hiện tại Bảng 2.

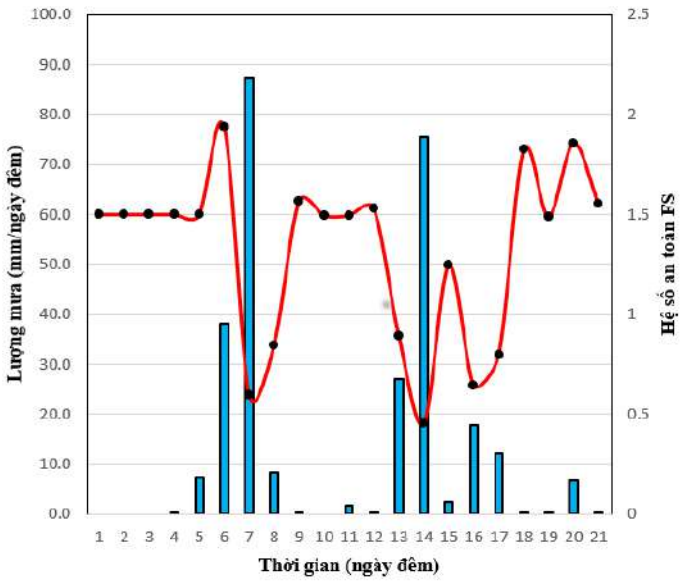
Bảng 2. *Tổng hợp lượng mưa tại trạm đo mưa Xuân Lãnh từ ngày 07/11/2022-27/11/2022*

Trạm đo Xuân Lãnh	**07/11**	**08/11**	**09/11**	**10/11**	**11/11**	**12/11**	**13/11**	**14/11**	**15/11**	**16/11**	**17/11**
	0,0	0,0	0,0	0,4	7,4	38,2	87,4	8,4	0,4	0,0	1,8
	18/11	**19/11**	**20/11**	**21/11**	**22/11**	**23/11**	**24/11**	**25/11**	**26/11**	**27/11**	
	0,2	27,0	75,4	2,4	17,8	12,2	0,2	0,2	6,8	0,2	

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sử dụng phần mềm Geo Studio với 2 module Seep/W và GeoSlope để mô phỏng việc đánh giá ổn định mái dốc do ảnh hưởng bởi lượng mưa. Hình 7 thể hiện mái dốc bao gồm 4 lớp đất như đã được xác định với các cường độ mưa khác nhau được biết đến như điều kiện biên được xác định trên bề mặt mái dốc. Dựa vào lượng mưa được thu thập được từ ngày 07/11/2022 đến ngày 27/11/2022, nhóm tác đã thực hiện mô phỏng phân tích sự ổn định của mái dốc và xác định được hệ số an toàn của mái dốc do ảnh hưởng bởi lượng mưa như được thể hiện ở Hình 8.



Hình 7. Mô hình phân tích ổn định mái dốc ảnh hưởng bởi lượng mưa



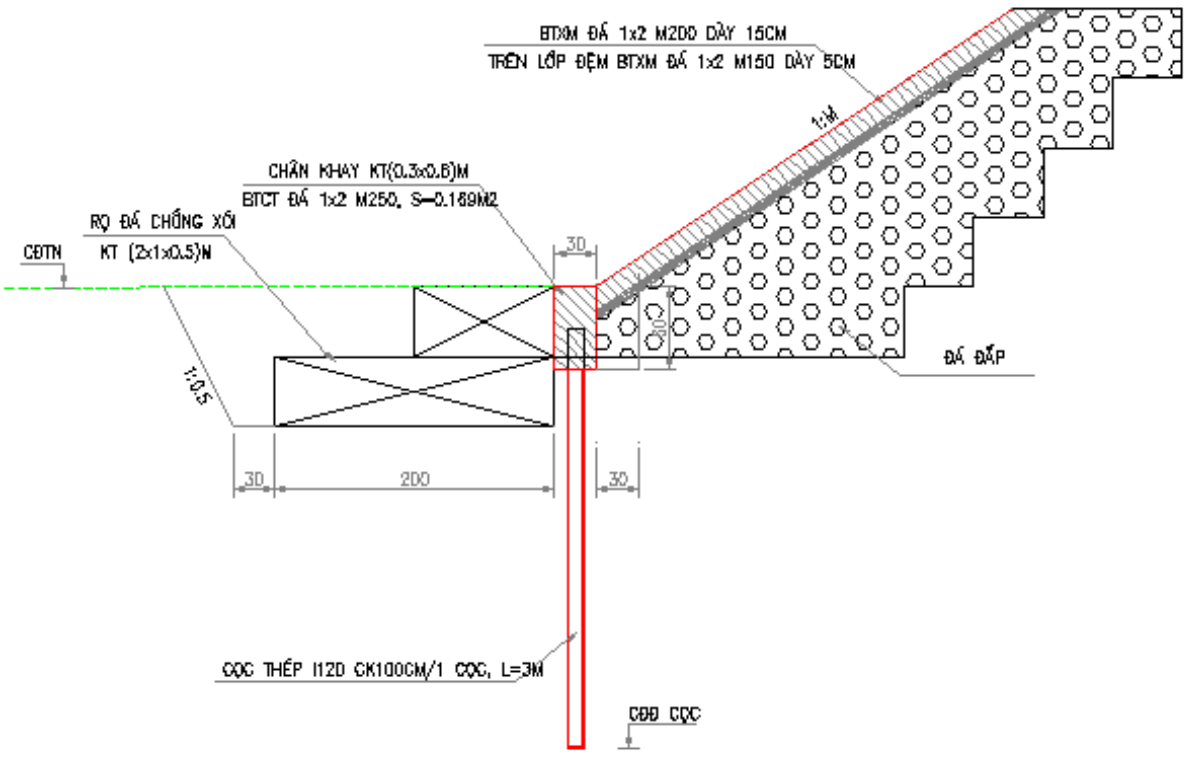
Hình 8. Tương quan giữa hệ số an toàn do ảnh hưởng bởi lượng mưa theo thời gian

Kết quả cho thấy rằng từ ngày 07/11/2022-09/11/2022 không có mưa, hệ số an toàn (FS) được xác định bằng 1,499. Đến ngày 10/11/2022 và ngày 11/12/2022 có mưa, tuy nhiên lượng mưa rất nhỏ (từ 0,4-7,4mm/ngày đêm) nên hệ số an toàn hầu như không có sự thay đổi (FS = 1,499). Sau đó, đến ngày 12/11/2022 là ngày thứ 3 có mưa với cường độ lượng mưa lớn hơn (38,2 mm/ngày đêm) làm hệ số an toàn tăng lên 1,936. Điều này được giải thích vì khi có một cường độ mưa vừa phải làm

mực nước sông dâng lên gây một áp lực ngang tác dụng lên mái dốc chưa gây ra sự tăng áp lực nước lỗ rỗng và làm tăng hệ số an toàn. Với hệ số an toàn FS = 1,936 (lớn hơn 1) mái dốc vẫn đang ở trạng thái ổn định. Tuy nhiên, từ kết quả ở Hình 8 cho thấy rằng lượng mưa đạt giá trị cực đại là 87,4 mm/ngày đêm, lượng nước mưa đã thấm vào trong đất càng nhiều và đã làm tăng mạnh áp lực nước lỗ rỗng, đây là nguyên nhân làm cho hệ số an toàn FS giảm đột ngột (FS = 0,598) làm cho mái dốc bị sạt lở. Kết quả khảo sát thực tế cũng xác nhận rằng mái dốc xảy ra sạt lở vào ngày 13/11/2022 là ngày mà lượng mưa có cường độ lớn nhất trong mùa mưa năm 2022. Từ kết quả mô phỏng nhận định rằng, nguyên nhân gây ra sạt lở mái dốc chính là do lượng mưa thấm vào đất của mái dốc làm tăng áp lực nước lỗ rỗng và làm giảm cường độ đất. Từ kết quả mô phỏng được thể hiện Hình 8 cho thấy với cường độ mưa lớn hơn 35 mm/ngày đêm đều có thể gây ra mất ổn định của mái dốc này (FS < 1), do vậy cần phải có các biện pháp bảo vệ mái dốc phù hợp.

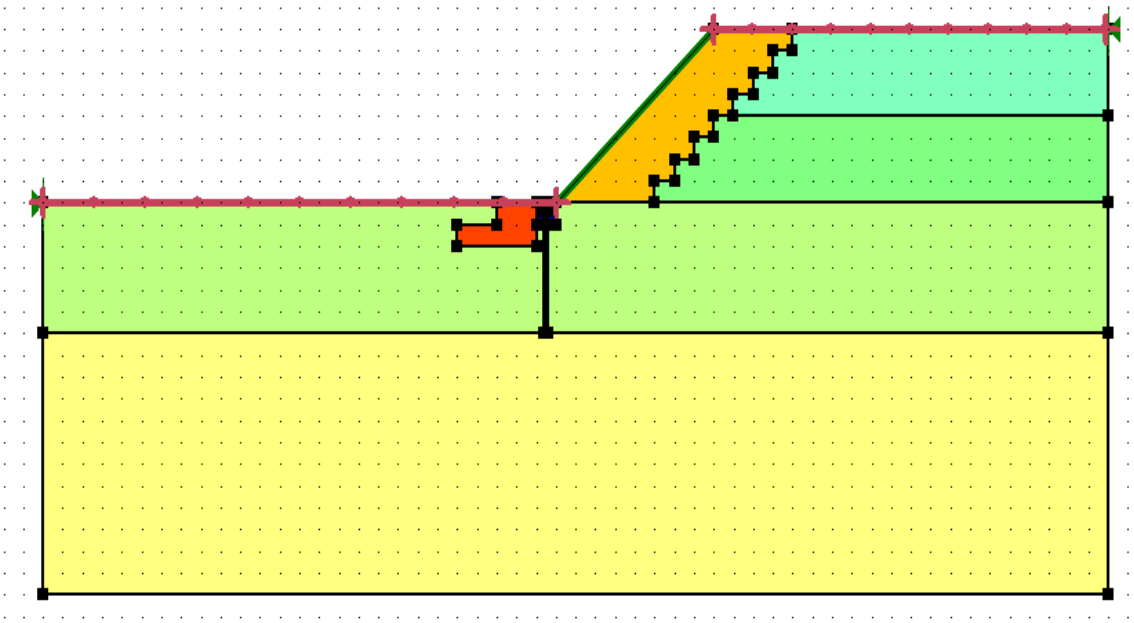
4. Phân tích ổn định với biện pháp bảo vệ mái dốc

Để đảm bảo an toàn cho mái dốc trong những mùa mưa tiếp theo, trong nghiên cứu này nhóm tác giả thực hiện biện pháp bảo vệ mái dốc bằng xếp khan đá hộc lấp kín theo chiều dài mái dốc với kích thước 2,5mx4,7m, phía chân mái dốc đóng cọc thép I120cm dài 3,0m, cách khoảng 1,0m/1 cọc và thi công chân khay bằng bê tông cốt thép (BTCT) có kích thước 0,3mx0,6m, phía bên ngoài chân khay xếp 02 lớp rọ thép đá hộc kích thước 1mx2mx0,5m để chống xói lở chân khay. Tổng thể các biện pháp bảo vệ mái dốc khu vực sạt lở được thể hiện như Hình 9.



Hình 9. Mặt cắt thể hiện giải pháp gia cố mái dốc

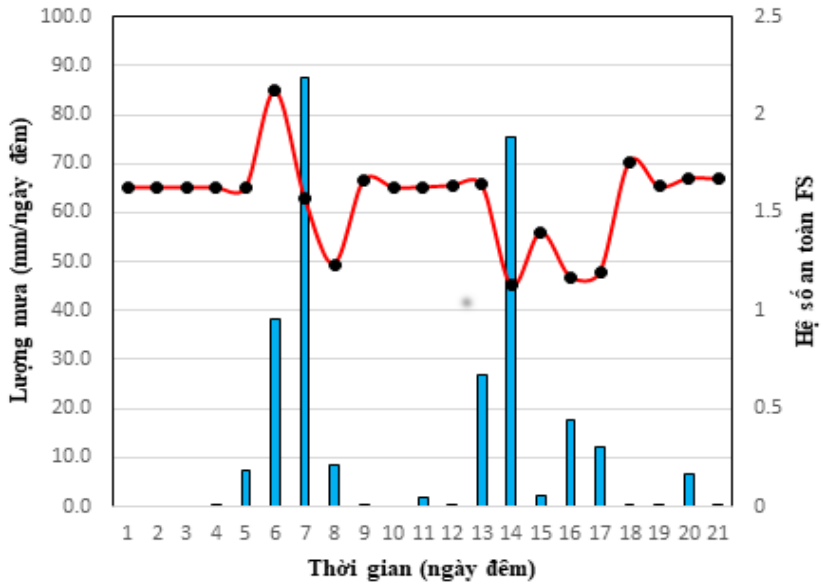
Để đánh giá sự ổn định của mái dốc sau khi gia cố, nhóm tác giả tiếp tục sử dụng phần mềm Geo Studio với modul Slope để mô phỏng mái dốc trong trường hợp này (Hình 10). Các vật liệu gia cố mái dốc có các chỉ tiêu cơ lý được tổng hợp tại Bảng 3 được sử dụng như là thông số đầu vào để tính toán và phân tích ổn định mái dốc sau khi được gia cố. Đối với chân khay bằng bê tông cốt thép và cọc thép, nhóm tác giả sử dụng mô hình Bedrock được biết đến như là đá gốc có cường độ chịu nén rất cao làm vật liệu thay thế.



Hình 10. Mái dốc với biện pháp gia cố

Bảng 3. *Tổng hợp chỉ tiêu cơ lý của các vật liệu gia cố mái dốc*

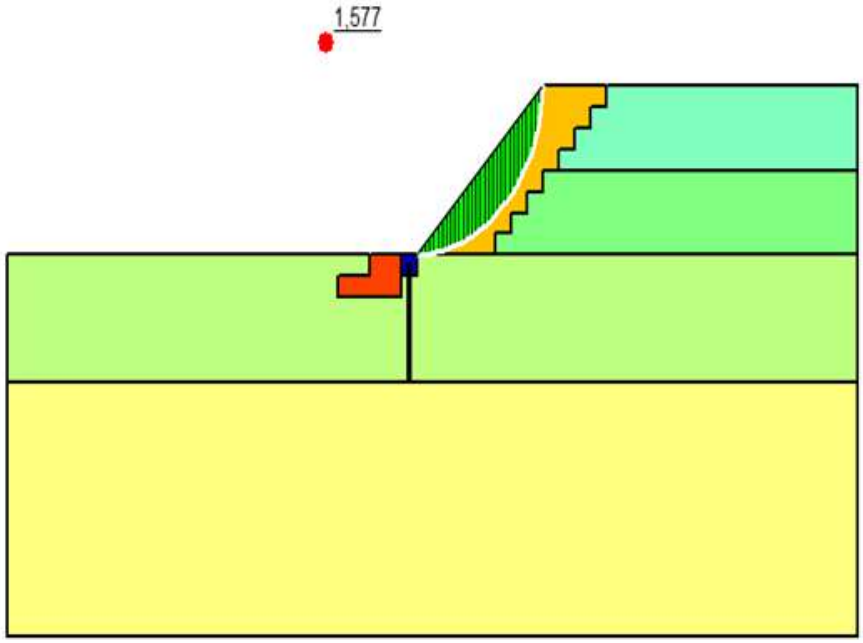
STT	Vật liệu	Kích thước	Trọng lượng riêng (kN/m^3)	Lực dính c (kN/m^2)	Góc ma sát trong ϕ (^{0})
1	Đá đắp	2,5mx4,7m	20	5	50^0
2	Rọ đá	1mx2mx0,5m	20	10	50^0
3	Thép I120	Dài 3m, cách khoảng 1m/cọc	78,5		



Hình 11. Tương quan giữa hệ số an toàn do ảnh hưởng bởi lượng mưa theo thời gian sau khi gia cố

Cũng với cùng mái dốc và lượng mưa như trong phần mô phỏng mái dốc bị sạt lở, nhóm tác giả thực hiện việc tính toán hệ số an toàn sử dụng giải pháp gia cố cho thấy hệ số an toàn tăng lên được thể hiện ở Hình 11. Kết quả cho thấy sau khi thực hiện giải pháp gia cố mái dốc, hệ số an

toàn đã tăng lên lớn hơn 1 tại các ngày 13/11/2022, 14/11/2022, 19/11/2022, 20/11/2022, 22/11/2022, 23/11/2023 (các ngày này khi chưa được gia cố có hệ số an toàn nhỏ hơn 1), đặc biệt tại ngày xảy ra sạt lở mái dốc (ngày 13/11/2022), hệ số an toàn được tăng lên đáng kể (từ 0,589 lên 1,577) như được thể hiện tại Hình 12.



Hình 12. Hệ số an toàn và mặt trượt của mái dốc sau khi gia cố

5. Kết luận

- Đường cong đặc trưng đất-nước (SWCC) có thể xác định trực tiếp từ các thí nghiệm trong phòng, hiện trường cũng như xác định gián tiếp từ các phương trình đã kiến nghị bởi nhiều tác giả. Việc thí nghiệm xác định hàm thấm, sức chống cắt ứng với các độ hút dính khác nhau thường rất khó khăn, tốn kém và mất nhiều thời gian. Tuy nhiên hàm thấm và sức chống cắt của đất có thể tính toán từ đường cong đặc trưng đất-nước. Do đó, đường cong đặc trưng đất-nước rất quan trọng trong cơ học đất không bão hòa. Hàm thấm và phương trình sức chống cắt cho phép phân tích chính xác các bài toán thấm do mưa, ổn định mái dốc theo thời gian khi có sự thay đổi về độ ẩm, áp lực nước lỗ rỗng trong môi trường đất không bão hòa-bão hòa.

- Trong nghiên cứu này, mái dốc bị mất ổn định là do lượng mưa thấm vào đất của mái dốc làm tăng áp lực nước lỗ rỗng và làm giảm cường độ đất. Từ kết quả mô phỏng cho thấy với cường độ mưa lớn hơn 35 mm/ngày đêm đều có thể gây ra mất ổn định của mái dốc này (FS < 1). Trong khi đó với việc thực hiện tổ hợp các biện pháp gia cường bao gồm xây dựng chân khay, cọc thép, đá hộc và rọ đá. Kết quả mô phỏng cho thấy rằng hệ số an toàn của mái dốc tăng lên đáng kể (từ 0,598 lên 1,577 cao hơn so với hệ số an toàn trong 22TCN 262-2000 sử dụng phương pháp Bishop là 1,2) khi cường độ mưa đạt giá trị cực đại (87,4mm/ngày đêm) vào mùa mưa năm 2022. Do đó việc sử dụng các biện pháp gia cố trong nghiên cứu này là phù hợp và mang tính hiệu quả cao.

Tài liệu tham khảo

N. Caine, "The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows," Geografiska Annaler, vol. 62A, pp. 23-27, 1980.

T. T. Lim, H. Rahardjo, M. F. Chang, and D. G. Fredlund, "Effect of rainfall on matric suctions in a residual soil slope," Can. Geotech. J, vol. 1, pp. 618-628 1996.

J. M. Gasmo, H. Rahardjo, and E. C. Leong, "Infiltration effects on stability of a residual soil slope" Computers and Geotechnics vol. 26, pp. 145-165, 2000.

H. Rahardjo, T. T. Lee, E. C. Leong, and R. B. Rezaur, "Response of a residual soil slope to rainfall" Can. Geotech. J, vol. 42, pp. 340-351, 2005.

H. Rahardjo, E. C. Leong, and R. B. Rezaur, "Effect of antecedent rainfall on pore-water pressure distribution characteristics in residual soil slopes

Bùi Anh Định, Nguyễn Sỹ Ngọc. Địa kỹ thuật. Trường Đại học GTVT Hà Nội, (2000).

Châu Ngọc Ẩn. Cơ học đất. Nhà xuất bản Đại học quốc gia Tp. Hồ Chí Minh, (2004).

Dương Hộc Hải, Hồ Chất. Phòng chống các hiện tượng phá hoại đường miền núi. Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật Hà Nội, (2002).

Phan Xuân Đại, Nguyễn Chỉnh Bái. Các giải pháp phòng chống sụt lở đất đá trên đường. Nhà xuất bản giao thông vận tải Hà Nội, (2001).

Nguyễn Thanh Danh, Luận án tiến sĩ "Nghiên cứu ảnh hưởng của mưa đối với trượt lở và xây dựng bản đồ tai biến trượt lở huyện Khánh Vĩnh, tỉnh Khánh Hòa, TP.HCM (2019).

https://www.vrain.vn/home/65/dashboard.

A study on landslide assessment and protective measures for the slope road section through Xuan Long Commune, Dong Xuan District, Phu Yen Province

Vo Thanh Toan[1], Nguyen Thanh Danh[1], Nguyen Van Hai[1], Nguyen Thanh Son[1,*]

[1]*Mien Trung University of Civil Engineering*

**Corresponding author: Email: nguyenthanhson@muce.edu.vn*

Abstract

Slope failures are becoming increasingly common due to the growing impacts of climate change and excessive human intervention in natural landscapes. One major cause of slope failure, both globally and in Vietnam, is heavy rainfall. To investigate the causes and mechanisms of rainfall-induced slope failure, this study conducted a geotechnical survey to determine the physical properties of the soil at the failure site. Based on the collected, analyzed, and calculated data, the finite element method was used to simulate the rainwater infiltration process and the resulting pore water pressure distribution within the soil slope. Subsequently, the limit equilibrium method was applied to evaluate the slope's safety factor and identify its failure mechanism. The results indicate that the safety factor decreases significantly under maximum rainfall intensity. Rainwater infiltration increases pore water pressure, reduces soil strength, and ultimately leads to a loss of load-bearing capacity, causing slope failure. Additionally, this study proposes methods for slope protection and safety verification based on the most effective simulation results.

Keywords: Slope stability analysis, rainfall intensity, finite element method, limit equilibrium method, road slope protective measures.

TỔ CHỨC KHÔNG GIAN CÔNG CỘNG ĐÔ THỊ GẮN VỚI KẾT NỐI CỘNG ĐỒNG VÀ TẠO LẬP BẢN SẮC TINH THẦN NƠI CHỐN HƯỚNG ĐẾN PHÁT TRIỂN NHÂN VĂN, BỀN VỮNG

Nguyễn Hữu Ninh[1,*]

[1]*Trường Đại học Xây dựng Miền Trung*

**Tác giả liên hệ: Email: nguyenhuuninh@muce.edu.vn*

Tóm tắt

Không gian công cộng là thành phần không thể thiếu trong cấu trúc đô thị, đóng vai trò kết nối con người, kiến tạo sự tương tác xã hội và thể hiện bản sắc địa phương. Nhấn mạnh việc tổ chức không gian công cộng không chỉ nhằm phục vụ chức năng sử dụng, mà còn phải hướng đến mục tiêu tạo lập sự gắn kết cộng đồng và định hình tinh thần nơi chốn. Để đạt được điều này, các nguyên tắc như tiếp cận dễ dàng, khuyến khích sự tương tác, kế thừa văn hóa bản địa và quản lý có sự tham gia của cộng đồng là vô cùng cần thiết. Không gian cần được thiết kế linh hoạt, đa chức năng và có khả năng thích ứng với nhu cầu thay đổi của xã hội. Đồng thời, việc tích hợp yếu tố văn hóa, ký ức lịch sử và đặc trưng bản địa vào không gian công cộng giúp tăng cường cảm giác thân thuộc, tự hào và gắn bó của người dân với nơi họ sinh sống. Không gian công cộng cũng là môi trường quan trọng để nuôi dưỡng đời sống tinh thần, góp phần thúc đẩy phát triển bền vững cả về xã hội, văn hóa lẫn kinh tế. Khi được quy hoạch và thiết kế đúng cách, các không gian này sẽ không chỉ là nơi tụ họp, nghỉ ngơi mà còn là biểu tượng văn hóa đô thị - phản ánh linh hồn và giá trị của cộng đồng. Bài viết nghiên cứu cách tiếp cận nhân văn và toàn diện trong tổ chức không gian công cộng, lấy con người làm trung tâm và bản sắc làm nền tảng.

Từ khoá: Không gian công cộng; đô thị hiện đại; bản sắc; nơi chốn

1. Đặt vấn đề

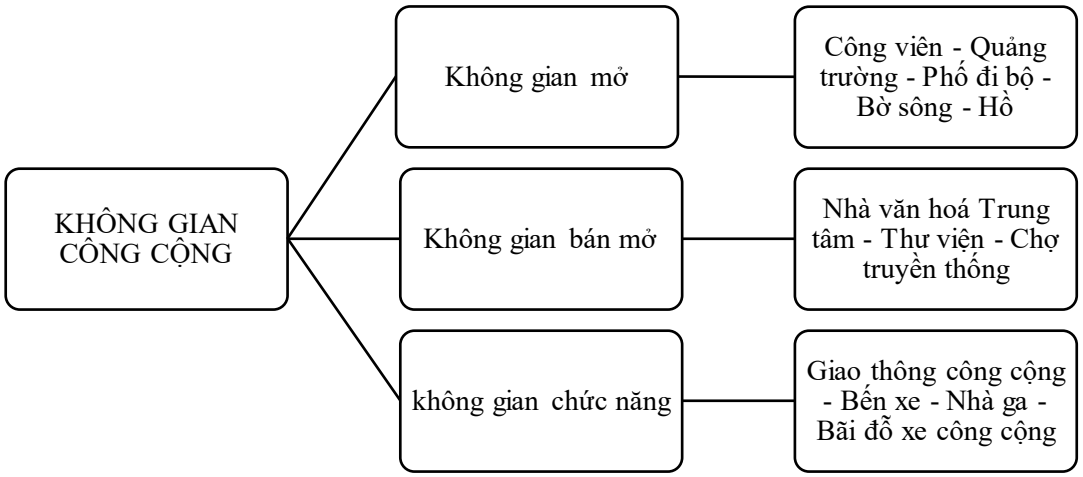
Trong bối cảnh quá trình đô thị hóa diễn ra mạnh mẽ trên khắp thế giới, các thành phố không chỉ trở thành trung tâm kinh tế, văn hóa mà còn là nơi hội tụ, giao thoa của nhiều cộng đồng, nền văn hóa và lối sống khác nhau. Tuy nhiên, giữa sự phát triển mạnh mẽ của các công trình hạ tầng hiện đại và sự mở rộng không ngừng của không gian đô thị, một yếu tố quan trọng cần được chú trọng là không gian công cộng. Với tính chất không gian mở và khả năng đáp ứng nhu cầu sinh hoạt chung của nhiều tầng lớp dân cư, không gian công cộng đô thị mang trong mình một sứ mệnh quan trọng không chỉ trong việc phục vụ nhu cầu thiết yếu mà còn trong việc định hình những giá trị văn hóa đặc trưng của mỗi khu vực. Chính vì thế, việc tổ chức và thiết kế không gian công cộng sao cho vừa đáp ứng nhu cầu sử dụng, vừa tôn vinh bản sắc tinh thần của cộng đồng là một vấn đề vô cùng quan trọng trong quy hoạch và phát triển đô thị hiện đại theo hướng nhân văn, bền vững.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

2.1 Định nghĩa không gian công cộng

Theo tổ chức UNESCO, không gian công cộng được định nghĩa như những khu vực chung mà mọi người đều có thể thoải mái tiếp cận, không phân biệt địa vị xã hội, giới tính, sắc tộc, tôn giáo. Đó có thể là quảng trường, công viên, đường dạo bộ ven sông, khu vui chơi ngoài trời… phục vụ cho các nhu cầu thư giãn, kết nối, tương tác trong cộng đồng.[6]

Theo nghĩa rộng hơn không gian công cộng đô thị là phần không gian vật lý trong đô thị được thiết kế hoặc sử dụng với mục đích phục vụ cộng đồng dân cư, góp phần nâng cao chất lượng sống, sự kết nối và bản sắc văn hóa đô thị.



Hình 1. Sơ đồ công năng không gian công cộng đô thị

2.2 Các đặc điểm của không gian công cộng đô thị

- *Tính mở và khả năng tiếp cận là nơi mọi người đều có thể sử dụng*, không phân biệt tuổi tác, giới tính, tầng lớp hay thu nhập. Bên cạnh đó cần phải được tiếp cận dễ dàng bằng nhiều hình thức giao thông (đi bộ, xe đạp, phương tiện công cộng…).

- *Tính công cộng là đặc điểm chính yếu nêu bật lên ý nghĩa thuộc sở hữu chung*, thường do nhà nước hoặc cộng đồng quản lý và phục vụ lợi ích cộng đồng, không nhằm mục đích lợi nhuận cá nhân.

- *Tính đa chức năng của không gian công cộng nhằm đáp ứng nhiều nhu cầu: giao tiếp xã hội, nghỉ ngơi, giải trí, thể thao, văn hóa, sinh hoạt cộng đồng...* đồng thời có thể thay đổi công năng linh hoạt theo thời điểm (ví dụ: quảng trường tổ chức lễ hội, biểu diễn nghệ thuật, diễu hành…).

- *Tính biểu tượng và bản sắc là đặc điểm quan trọng phản ánh văn hóa, lịch sử và đặc trưng địa phương* và góp phần tạo dựng hình ảnh và bản sắc đô thị.

- *Tính kết nối, là mắt xích liên kết giữa các khu vực chức năng đô thị*, giữa con người với con người và giúp hình thành mạng lưới không gian công cộng trong đô thị một cách mạch lạc.

Hình 2. Hội An, Tp Đà Nẵng [7]

Hình 3. Tháp Nhạn, Đắk Lắk [8]

2.3 Mối quan hệ giữa không gian công cộng và bản sắc tinh thần nơi chốn

2.3.1 Yếu tố bản sắc tinh thần nơi chốn

Được hình thành dựa trên mối liên hệ giữa các yếu tố vật chất của môi trường tự nhiên và môi trường xây dựng tạo nên một khung cảnh đô thị chịu ảnh hưởng từ những nét đặc trưng tự nhiên như địa hình, mặt nước, bầu trời hay nhân tạo như kiến trúc, đô thị gắn liền với địa điểm. Và đồng thời, yếu tố nơi chốn cũng liên kết với những yếu tố tinh thần như lịch sử, lối sống… tạo nên những nét đặc trưng trong văn hoá đô thị. [3]

Bảng 1. *Các yếu tố hình thành bản sắc tinh thần nơi chốn*

Yếu tố	Nội dung chính	Vai trò đối với bản sắc tinh thần nơi chốn	Ví dụ minh họa
1. Lịch sử - ký ức cộng đồng:	Bao gồm di tích, truyền thuyết, sự kiện lịch sử gắn với địa phương	Gợi nhớ quá khứ, duy trì mối liên kết giữa các thế hệ cư dân	Di tích Cổ Loa, lễ hội đền Hùng, dấu tích Thành Nhà Hồ
2. Văn hóa bản địa:	Nghệ thuật dân gian, phong tục, tín ngưỡng, lối sống đặc trưng	Tạo nét riêng biệt, khẳng định giá trị truyền thống địa phương	Hát quan họ Bắc Ninh, múa xoè Thái, Lễ hội Chôl-Chnam-Thmây
3. Cảnh quan - kiến trúc đặc trưng:	Cấu trúc không gian, vật liệu địa phương, bố cục làng/xã/đô thị	Là dấu hiệu nhận diện nơi chốn, mang tính thẩm mỹ và bản địa	Nhà rường Huế, mái ngói Hội An, phố Pháp ở Hà Nội
4. Tương tác xã hội và hoạt động thường ngày:	Hoạt động giao tiếp, sinh hoạt cộng đồng trong đời sống hàng ngày	Phản ánh lối sống, hình thành sự gắn bó và cộng đồng cư dân	Chợ làng, hội làng, uống trà đầu ngõ, thể dục ở công viên
5. Cảm xúc và sự gắn bó của cư dân:	Tình yêu quê hương, cảm xúc, trải nghiệm gắn với địa điểm sống	Tạo cảm giác thân thuộc, trách nhiệm gìn giữ và phát triển nơi chốn	"Quê hương là chùm khế ngọt", gắn bó với phố, xóm, cây cổ thụ đầu làng

2.3.2 Không gian công cộng là biểu tượng của bản sắc tinh thần và tạo dựng các giá trị văn hóa chung

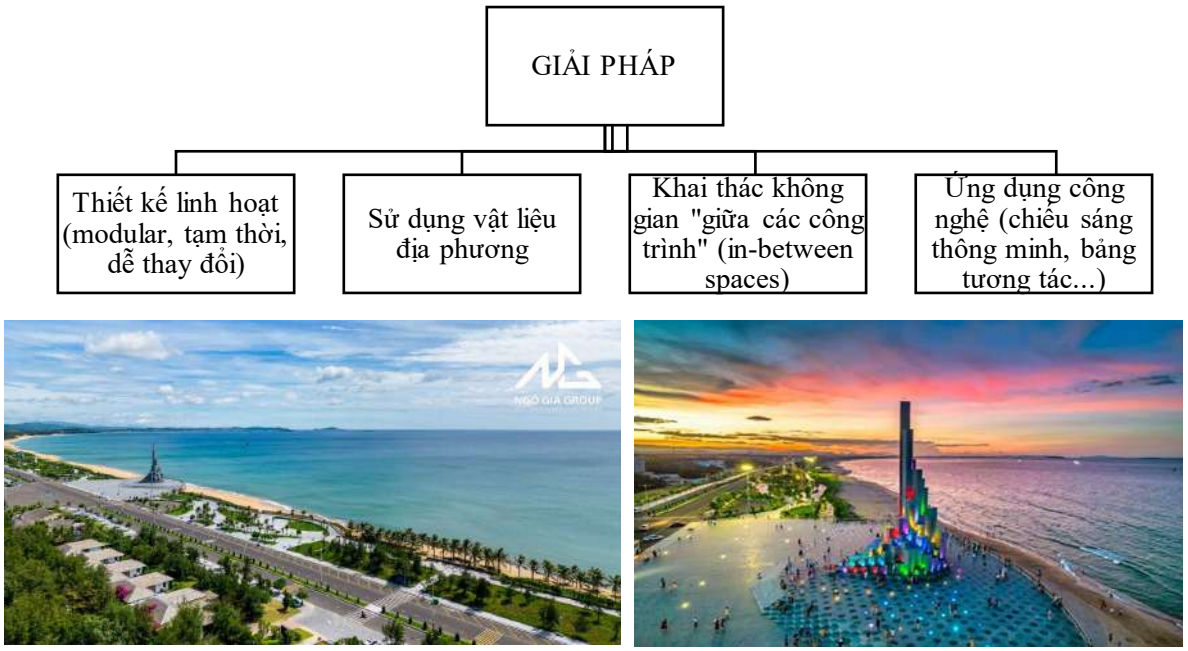
Bảng 2. *Phân tích mối quan hệ giữa không gian công cộng và bản sắc tinh thần nơi chốn*

Yếu tố	Vai trò của không gian công cộng	Tác động đến bản sắc tinh thần nơi chốn	Ví dụ minh họa
1. Văn hóa - lịch sử:	Là nơi lưu giữ di tích, tổ chức lễ hội, sự kiện truyền thống	Gợi nhớ ký ức tập thể, kết nối cộng đồng với lịch sử địa phương	Quảng trường trước đền Hùng, lễ hội ở phố cổ Hội An
2. Kiến trúc - cảnh quan đặc trưng:	Thể hiện đặc điểm bản địa qua thiết kế, vật liệu, hình thái không gian	Tạo sự nhận diện riêng biệt, phân biệt nơi chốn này với nơi khác	Vỉa hè lát gạch Bát Tràng ở Hà Nội, hồ nước trong lòng thành phố Huế
3. Tương tác xã hội - lối sống:	Là nơi diễn ra các hoạt động thường nhật của cộng đồng	Phản ánh và nuôi dưỡng phong cách sống, thói quen sinh hoạt	Người dân tập thể dục buổi sáng ở công viên, sinh hoạt dân gian nơi đình làng
4. Giá trị tinh thần - cảm xúc:	Là nơi kết nối ký ức cá nhân và tập thể với không gian sống	Tạo cảm giác thân thuộc, niềm tự hào về quê hương	Cây cổ thụ đầu làng, sân đình, con phố quen thuộc

2.4 Đề xuất các mô hình tổ chức không gian công cộng đô thị gắn với khai thác các giá trị bản sắc tinh thần nơi chốn hiện nay

2.4.1 Nguyên tắc và giải pháp

Khai thác các yếu tố tự nhiên (địa hình, thảm thực vật, mặt nước) và nhân văn (di sản kiến trúc, không gian văn hóa, phong tục tập quán) là cốt lõi để tạo dựng bản sắc. Giữ lại những ký ức không gian, dấu ấn lịch sử - văn hóa, đồng thời tạo điều kiện cho sự thích ứng trong bối cảnh hiện đại. Không gian công cộng phải là nơi khuyến khích tương tác xã hội, đáp ứng nhu cầu sinh hoạt, giải trí, lễ hội. Tạo cơ hội để cộng đồng tham gia vào quá trình thiết kế, quản lý và khai thác. (Hình 6).



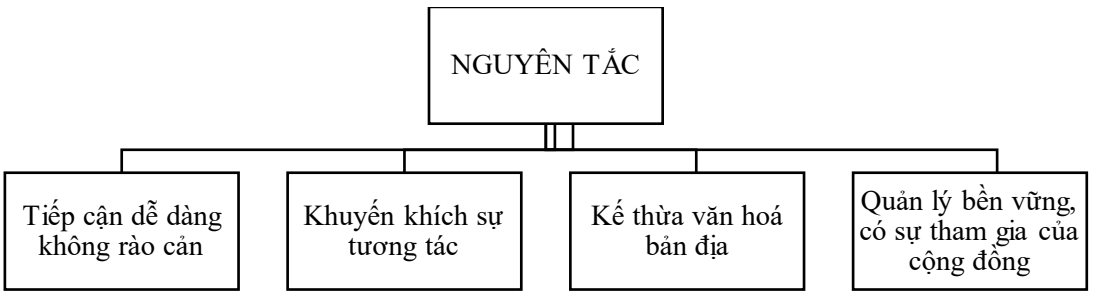
Hình 4. Công viên biển Đắk Lắk [9]

Hình 5. Quảng trường tháp Nghinh Phong - Đắk Lắk [10]

2.4.2. Không gian công cộng mang tính lịch sử - văn hóa

Các không gian công cộng mang tính lịch sử và văn hóa có một số đặc điểm nổi bật, góp phần làm nên bản sắc đô thị và giá trị tinh thần của cộng đồng cư dân. Trước hết, đây là những không gian mang tính biểu tượng cao, gắn liền với các sự kiện lịch sử, nhân vật nổi tiếng hoặc truyền thống văn hóa lâu đời, là nơi lưu giữ ký ức tập thể của cộng đồng. Về mặt hình thức, chúng thường có dấu ấn kiến trúc và cảnh quan đặc trưng, sử dụng vật liệu bản địa, hình khối hài hòa và bố cục phản ánh phong cách kiến trúc truyền thống hoặc cổ điển (Bảng 3).

Không gian này cũng kết nối chặt chẽ với các di sản vật thể và phi vật thể, trở thành nơi diễn ra các hoạt động lễ hội, biểu diễn nghệ thuật dân gian và sinh hoạt cộng đồng gắn với đình, chùa, nhà cổ hay các khu di tích.



Hình 6. Nguyên tắc và giải pháp tổ chức không gian công cộng gắn với cộng đồng và bản sắc

Bảng 3. *Giải pháp thiết kế không gian công cộng mang tính lịch sử - văn hóa*

Nhóm giải pháp	Nội dung chi tiết	Mục tiêu	Ví dụ minh họa
1. Bảo tồn giá trị gốc:	- Giữ nguyên vị trí, cấu trúc, vật liệu, cảnh quan gắn với di tích; Tôn trọng hình thái, không làm biến dạng không gian gốc	Gìn giữ ký ức đô thị, bảo vệ giá trị lịch sử	Bảo tồn Tháp Nhạn, cải tạo quảng trường Ba Đình
2. Tái thiết - chuyển đổi công năng phù hợp:	- Chuyển đổi công trình cũ (nhà máy, kho bãi, chợ) thành không gian văn hóa cộng đồng	Phát huy giá trị cũ trong bối cảnh mới	Bến Bạch Đằng (TP.HCM), Các công sở cũ ven biển Tuy Hoà - Đắk Lắk
3. Thiết kế đậm bản sắc địa phương:	- Sử dụng vật liệu truyền thống, hoa văn dân gian, hình thái kiến trúc bản địa; Gắn hoạt động cộng đồng với văn hóa vùng miền	Tạo sự thân thuộc và nhận diện nơi chốn	Tháp Nghinh Phong mô phỏng gành Đá Đĩa, Gạch nung, mái ngói âm dương, chòi nghỉ gỗ, họa tiết dân tộc trong các công trình xây dựng
4. Không gian sự kiện và lễ hội truyền thống:	- Quy hoạch không gian đủ linh hoạt để tổ chức lễ hội, hội làng, biểu diễn nghệ thuật…	Gắn kết cộng đồng, bảo tồn văn hóa phi vật thể	Không gian tổ chức lễ hội Cầu Ngư các làng chài, Festival Huế
5. Tăng cường sự tham gia của cộng đồng:	- Tham vấn người dân trong quá trình thiết kế, nâng cấp không gian; Mở rộng vai trò cộng đồng trong bảo quản và sử dụng	Tăng tính gắn kết, sở hữu tinh thần của cộng đồng	Mô hình "làng cổ du lịch cộng đồng", phố đi bộ do dân tự quản
6. Ứng dụng công nghệ - truyền thông di sản:	- Gắn mã QR, mô hình 3D, thực tế ảo (AR/VR) tại các di tích	Tăng khả năng tiếp cận, giáo dục và du lịch văn hóa	Bảo tàng ngoài trời số, hệ thống thông tin du lịch thông minh

2.4.3 Các không gian công cộng xanh - thân thiện với môi trường

Không gian công cộng xanh với hệ thống cây xanh và thảm thực vật bản địa không chỉ góp phần cải thiện vi khí hậu, giảm thiểu tác động tiêu cực của đô thị hóa mà còn là nơi thể hiện rõ tinh thần nơi chốn. Các yếu tố tự nhiên đặc trưng của vùng miền như hàng dừa nước ở miền Tây, rặng phi lao ven biển miền Trung hay cây hoa sữa trên phố Hà Nội vừa tạo bản sắc riêng vừa nuôi dưỡng ký ức, tình cảm gắn bó của cộng đồng. Đồng thời, không gian này còn đóng vai trò như một "cầu nối" giữa con người với con người và giữa con người với thiên nhiên, giúp tăng cường sự gắn kết xã hội và xây dựng lối sống bền vững.

Bảng 4. *Đặc điểm của các không gian công cộng xanh - thân thiện với môi trường*

Nội dung	Mô tả chi tiết
1. Tăng cường cây xanh và đa dạng sinh học:	Ưu tiên cây bản địa, phát triển thảm thực vật tự nhiên, tạo môi trường sống cho sinh vật, góp phần cải thiện chất lượng không khí.
2. Thiết kế hỗ trợ giao thông bền vững:	Tích hợp lối đi bộ, đường xe đạp, tiếp cận giao thông công cộng; giảm khí thải và khuyến khích vận động lành mạnh.
3. Vật liệu và công nghệ thân thiện môi trường:	Sử dụng vật liệu tái chế, thấm nước, ít phát thải; kết hợp công nghệ tiết kiệm nước, năng lượng tái tạo (như điện mặt trời).
4. Quản lý nước mưa - điều hòa vi khí hậu:	Áp dụng vườn mưa, bề mặt thấm nước, hồ chứa nước mưa nhằm giảm ngập và làm mát môi trường đô thị.
5. Gắn kết cộng đồng - thúc đẩy lối sống bền vững:	Là nơi tổ chức hoạt động cộng đồng, giáo dục môi trường; nâng cao nhận thức và trách nhiệm của cư dân.

2.4.4 Không gian công cộng thông minh

Không gian công cộng thông minh gắn với tinh thần nơi chốn khi công nghệ được sử dụng không chỉ để nâng cao tiện nghi và hiệu quả quản lý, mà còn để bảo tồn, lan tỏa và làm sống động những giá trị văn hóa - lịch sử bản địa, giúp con người kết nối sâu sắc hơn với cộng đồng và môi trường sống của mình. Bên cạnh đó, việc tích hợp công nghệ trong không gian công cộng còn tạo điều kiện cho các hoạt động sáng tạo và giao lưu văn hóa diễn ra phong phú hơn.

Chính nhờ sự kết hợp giữa công nghệ và tinh thần nơi chốn, những không gian này vừa đáp ứng nhu cầu tiện nghi hiện đại, vừa nuôi dưỡng bản sắc địa phương, hướng tới một đô thị nhân văn và bền vững.

Bảng 5. *Đặc điểm không gian công cộng thông minh*

Đặc điểm	Mô tả chi tiết
1. Tích hợp công nghệ cảm biến và dữ liệu thời gian thực:	- Cảm biến giám sát chất lượng không khí, ánh sáng, tiếng ồn, nhiệt độ,… - Màn hình và biển báo tương tác cung cấp thông tin thời tiết, sự kiện, hướng dẫn giao thông theo thời gian thực.
2. Hạ tầng kỹ thuật linh hoạt - kết nối số:	- Wi-Fi công cộng miễn phí. - Trạm sạc xe điện, sạc thiết bị di động. - Chiếu sáng thông minh tùy biến theo chuyển động người dùng và thời gian trong ngày.
3. Tối ưu hóa quản lý và vận hành:	- Thùng rác thông minh có cảm biến báo đầy. - Hệ thống tưới tiêu tự động theo độ ẩm và thời tiết. - Camera an ninh tích hợp AI đảm bảo an toàn công cộng.
4. Tăng cường trải nghiệm người dùng:	- Ứng dụng di động giúp định vị, đặt chỗ, phản ánh vấn đề. - Không gian linh hoạt phục vụ nhiều hoạt động khác nhau. - Thiết kế dễ tiếp cận cho mọi nhóm người dùng: trẻ em, người cao tuổi, người khuyết tật.

Không gian công cộng ở công viên Millenium, Chicago, Hoa Kỳ [11]

Phố đi bộ Nguyễn Huệ, TP Hồ Chí Minh [2]

Công viên trung tâm Trà Vinh - Vĩnh Long [13]

Quảng trường Phú Yên - Đắk Lăk [14]

Hình 7. Một số hình ảnh về không gian công cộng trong nước và thế giới

3. Kết luận

Trong tiến trình phát triển đô thị hiện đại, không gian công cộng ngày càng đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao chất lượng sống, tăng cường kết nối xã hội và gìn giữ bản sắc đô thị. Không gian công cộng không chỉ là nơi diễn ra các hoạt động thường nhật của cư dân như vui chơi, giải trí, gặp gỡ, mà còn là nơi phản ánh sâu sắc các giá trị văn hóa, lịch sử và tinh thần của cộng đồng địa phương. Chính vì vậy, việc tổ chức không gian công cộng đô thị theo hướng gắn kết cộng đồng và định hình bản sắc nơi chốn là một yêu cầu cấp thiết và mang ý nghĩa chiến lược trong quy hoạch đô thị bền vững.

Mặt khác, bản sắc tinh thần nơi chốn không phải là yếu tố có thể áp đặt, mà cần được khơi gợi và nuôi dưỡng một cách tinh tế từ lịch sử, ký ức, phong tục và lối sống bản địa. Khi không gian công cộng được tổ chức hài hòa với các giá trị văn hóa sẵn có, nó sẽ trở thành "tấm gương phản chiếu" của đô thị - nơi mà cư dân cảm thấy thân thuộc, du khách cảm nhận được sự khác biệt và đô thị trở nên độc đáo, nhân văn hơn.

Tóm lại, tổ chức không gian công cộng gắn với tính kết nối cộng đồng và định hình bản sắc nơi chốn không chỉ mang ý nghĩa về mặt kiến trúc - quy hoạch, mà còn là hành động khẳng định tầm nhìn phát triển đô thị dựa trên giá trị con người, văn hóa và tính bền vững. Đó là nền tảng cho một đô thị đáng sống - nơi con người không chỉ tồn tại mà thực sự được sống, gắn bó và phát triển trong một không gian công bằng, nhân ái và đầy cảm hứng.

Tài liệu tham khảo

QCVN 01:2021/BXD. Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về Quy hoạch xây dựng. *Bộ Xây dựng*.

Nghị định số 38/2010/NĐ-CP của Chính phủ. Về quản lý không gian, kiến trúc, cảnh quan đô thị.

Nguyễn Văn Chương, 2015. "Nơi chốn" trong tổ chức không gian đô thị có bản sắc. *Tạp chí Kiến trúc-Hội KTS Việt Nam.*

Tạ Quỳnh Hoa, 2021. Bài viết Tổ chức quản lý không gian công cộng Tp Hà Nội có sự tham gia của cộng đồng hướng tới mô hình thành phố đáng sống. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng. NUCE.*

Kevin Lynch, 1960. The Image of the City. *MIT Press*

Tăng Quang, 2021. Tầm quan trọng của không gian công cộng trong đô thị.*rgp.vn*

https://baophuyen.vn/xa-hoi/202505/kham-pha-pho-co-hoi-an-fce17f0/.

https://antamtour.vn/thap-nhan-phu-yen.

ASEAN Urbanist

https://blogs.tripu.com.vn/ve-phu-yen-ngam-nang-vang-bien-xanh-b11018.php.

https://kienviet.net/2020/9/24/khong-gian-cong-cong-khu-vuc-do-thi-12-quang-truong-tu-tren-cao-nhin-xuong.

https://hanoimoi.vn/pho-di-bo-nguyen-hue-496376.html.

https://lsvn.vn/cong-vien-trung-tam-tp-vinh-trung-tam-vui-choi-giai-tri-hap-dan-trong-dip-tet-tan-suu-20211612626877-a100249.html.

https://thanhnien.vn/phu-yen-gat-hai-thanh-qua-nho-dau-tu-ha-tang-1851404687.htm.

Organizing urban public spaces associated with community connection and creating a spiritual identity of the place towards humane and sustainable development

Nguyen Huu Ninh[1,*]

[1]*Mien Trung University of Civil Engineering*

**Corresponding author: Email: nguyenhuuninh@muce.edu.vn*

Abstract

Public space is an indispensable component of the urban structure, playing the role of connecting people, creating social interactions and expressing local identity. Emphasizing the organization of public space not only to serve the function of use, but also to aim at creating community cohesion and shaping the spirit of place.

To achieve this, principles such as easy access, encouraging interaction, inheriting indigenous culture and participatory management are essential. Spaces need to be designed to be flexible, multifunctional and able to adapt to changing social needs. At the same time, integrating cultural elements, historical memories and indigenous characteristics into public spaces helps to enhance people's sense of belonging, pride and attachment to the places where they live.

Public spaces are also an important environment to nurture spiritual life, contributing to promoting sustainable development in terms of society, culture and economy. When properly planned and designed, these spaces will not only be places for gathering and resting but also become urban cultural symbols - reflecting the soul and values of the community. The article studies a humanistic and comprehensive approach to the organization of public spaces, with people as the center and identity as the foundation.

Keywords: public space; modern urbanism; indentity; sense of place.

NGHIÊN CỨU VỀ TIỀM NĂNG SỬ DỤNG CÁT NGUỒN GỐC BIỂN TRONG GIẢI PHÁP CỘT VẬT LIỆU RỜI BỌC VẢI ĐỊA KỸ THUẬT GIA CƯỜNG CHỊU TẢI KHỐI ĐẮP TRÊN NỀN ĐẤT YẾU

Phạm Minh Tuấn[1*], Lê Trần Thiên Phước[1], Võ Thanh Long[1], Tô Viết Nam[1]

[1]Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc Gia TP. Hồ Chí Minh

**Tác giả liên hệ: Email: pmtuan@hcmut.edu.vn*

Tóm tắt

Nghiên cứu này đánh giá khả năng sử dụng cát biển làm vật liệu thay thế cát sông trong cột vật liệu rời bọc vải địa kỹ thuật (GEC) để gia cường khối đắp trên nền đất yếu, nhằm giải quyết tình trạng khan hiếm cát sông tại Việt Nam. Sử dụng mô phỏng số bằng phần mềm PLAXIS 3D, dựa trên thí nghiệm tải trọng quy mô đầy đủ của Hosseinpour và nnk (2019), nghiên cứu xây dựng mô hình 3D để kiểm chứng độ lún và ứng suất, đồng thời so sánh hiệu quả của GEC khi sử dụng cát biển và vật liệu truyền thống. Kết quả cho thấy cát biển làm tăng độ lún tối đa 15% và giảm ứng suất trên cột GEC 16%, nhưng không ảnh hưởng đáng kể đến ứng suất trên nền đất yếu. Các thông số cơ học của cát biển từ Xuyên Mộc, TP. Hồ Chí Minh, được xác định qua thí nghiệm Proctor và nén ba trục. Kết quả đặt nền tảng cho việc ứng dụng cát biển trong địa kỹ thuật, nhưng cần thêm nghiên cứu về xử lý cát biển và tác động môi trường để đảm bảo tính khả thi và bền vững.

Từ khóa: Cát biển, GEC, vật liệu địa kỹ thuật, FEM.

1. Giới thiệu

Sự phát triển dân số và công nghiệp hóa ngày càng gia tăng đã thúc đẩy việc xây dựng cơ sở hạ tầng, đặc biệt là các công trình giao thông như đường cao tốc và cầu. Tuy nhiên, nhiều công trình này được xây dựng dọc theo các con sông, nơi có địa chất tương đối trẻ với các lớp đất yếu do trầm tích sông gần đây. Do đó, việc sử dụng các kỹ thuật cải thiện đất là cần thiết để đảm bảo độ ổn định và khả năng chịu tải của công trình. Một trong những kỹ thuật cải thiện đất tiên tiến là cột vật liệu rời bọc vải địa kỹ thuật gia cường (Geosynthetic-Encased Granular Columns - GEC). GEC là sự phát triển từ cột cát truyền thống, với sự khác biệt chính là việc sử dụng vải địa kỹ thuật để bọc cột, ngăn chặn vật liệu điền vào đất xung quanh. Kỹ thuật này mang lại nhiều lợi ích như tiết kiệm thời gian thi công, hiệu quả về chi phí, và khả năng tận dụng các vật liệu truyền thống. Ở Việt Nam, cát sông là vật liệu chính cho hầu hết các công trình xây dựng do tiện lợi trong khai thác và phù hợp với tiêu chuẩn. Tuy nhiên, nguồn cung cát sông đang ngày càng hạn chế, đặc biệt là cho các dự án đường cao tốc. Do đó, việc tìm kiếm vật liệu thay thế như cát biển là rất tiềm năng với trữ lượng lớn có thể đáp ứng nhu cầu xây dựng ngày càng tăng.

Nghiên cứu này tập trung vào việc điều tra hành vi của GEC và khả năng ứng dụng cát biển như một vật liệu thay thế. Nghiên cứu của Hosseinpour và nnk (2019) với kết quả đo đạc được lựa chọn làm tham chiếu xây dựng mô hình 3D. Để so sánh tiềm năng thay thế vật liệu truyền thống cho giải pháp GEC, cát biển tại khu vực Thành phố Hồ Chí Minh được thu thập, thí nghiệm và phân tích các đặc trưng cơ lý. Nghiên cứu tập trung phân tích và đánh giá độ lún đất nền và ứng suất phân bố trên cột GEC cũng như đất nền. Việc đánh giá tác động môi trường liên quan đến việc sử dụng vật liệu thay thế không được thực hiện trong nghiên cứu này.

2. Cột vật liệu rời bọc vải địa kỹ thuật (GEC)

Cột vật liệu bọc vải địa kỹ thuật (GEC) là một kỹ thuật cải thiện đất tiên tiến được thiết kế để tăng cường khả năng chịu tải và độ ổn định của các lớp đất yếu. GEC bao gồm hai phần chính: lớp bọc và vật liệu làm cột. Lớp bọc, thường là vải địa kỹ thuật, giúp cải thiện khả năng chịu tải, giảm lún và biến dạng ngang, đồng thời ngăn chặn vật liệu điền cột trộn lẫn với đất xung quanh. Kích

thước của cột GEC thường có đường kính từ 0.5 đến 1.5 mét và chiều dài từ 3 đến 20 mét, tùy thuộc vào loại công trình và yêu cầu thiết kế (EBGEO, 2011). Vật liệu điền cột thường là các vật liệu hạt có độ bền cắt cao như cát, sỏi, đá dăm. GEC còn có chức năng thoát nước, hấp thụ nước qua toàn bộ bề mặt, giúp cải thiện quá trình cố kết của đất. Cơ chế hoạt động của GEC dựa trên hiệu ứng vòm đất, cho phép chuyển tải trọng từ công trình xuống các cột, giảm áp lực lên đất yếu xung quanh.

Nghiên cứu của Yoo (2010) đã sử dụng mô hình số để điều tra hành vi của cột cát bọc vải địa kỹ thuật (GEC) dưới tải trọng khối đắp. Kết quả cho thấy GEC cải thiện đáng kể hành vi thất bại so với cột cát thông thường, với độ bền kéo tối ưu của lớp bọc trong khoảng 1.500-2.000 kN/m. Tỷ lệ thay thế diện tích từ 10% đến 20% cũng được xác định là ảnh hưởng lớn đến việc giảm lún. Nghiên cứu của Chen và nnk (2015) kết hợp thí nghiệm ly tâm và mô hình số để nghiên cứu hành vi của GEC. Kết quả cho thấy sự biến dạng ngang của các cột phụ thuộc vào vị trí tương đối so với trung tâm khối đắp, với cột ở rìa có biến dạng lớn nhất. Nghiên cứu này cũng sử dụng phần mềm PLAXIS 3D để mô phỏng, cung cấp cơ sở để so sánh với dữ liệu thực nghiệm.

3. Vật liệu thay thế trong bối cảnh địa kỹ thuật

3.1 Bối cảnh và nhu cầu sử dụng vật liệu thay thế

Trong bối cảnh xây dựng tại Việt Nam, sự khan hiếm cát sông đã trở thành một thách thức lớn, đặc biệt đối với các dự án cơ sở hạ tầng quy mô lớn như đường cao tốc và cầu. Cát sông, với đặc tính hạt đồng đều và khả năng nén chặt tốt, từ lâu là lựa chọn hàng đầu cho cột cát và các công trình địa kỹ thuật khác. Tuy nhiên, việc khai thác cát sông quá mức đã dẫn đến cạn kiệt nguồn tài nguyên này, cùng với các vấn đề môi trường như sạt lở bờ sông và suy thoái hệ sinh thái. Do đó, việc tìm kiếm các vật liệu thay thế như cát biển, đá dăm tái chế, hoặc vật liệu thải công nghiệp trở thành một yêu cầu cấp thiết.

Cát biển nổi bật như một vật liệu thay thế tiềm năng do trữ lượng lớn và khả năng khai thác bền vững hơn so với cát sông. Nhiều tác giả đã nghiên cứu về tiềm năng sử dụng cát biển cho các công trình xây dựng (Xiao và nnk, 2017; Nguyễn và nnk, 2021). Cát biển có các đặc điểm khác biệt, như hàm lượng muối cao, kích thước hạt không đồng đều, và khả năng chịu tải thấp hơn trong một số trường hợp. Những đặc tính này đòi hỏi phải đánh giá kỹ lưỡng để đảm bảo cát biển phù hợp cho các ứng dụng địa kỹ thuật, đặc biệt trong GEC, nơi độ bền cắt và khả năng thoát nước là yếu tố quan trọng. Cát biển thường có kích thước hạt nhỏ hơn và chứa các tạp chất như muối, vỏ sò, hoặc các hạt hữu cơ, có thể ảnh hưởng đến hiệu suất của GEC. Để sử dụng trong giải pháp GEC, cát biển cần được kiểm tra các thông số như độ bền cắt, độ thấm nước, và khả năng tương tác với vải địa kỹ thuật.

3.2 Thử nghiệm với cát biển tại Xuyên Mộc, TP. Hồ Chí Minh

Cát biển (Hình 1) được thu thập từ khu vực gần bãi biển Xuyên Mộc, TP. Hồ Chí Minh (Hình 2). Thí nghiệm Proctor (Hình 3) và nén ba trục thoát nước (CD) (Hình 4) được thực hiện để xác định các thông số cơ học quan trọng, bao gồm khối lượng đơn vị khô tối đa, hàm lượng nước tối ưu, góc ma sát trong, và độ bám dính.

Thí nghiệm nén ba trục thoát nước (CD) được thực hiện để đánh giá các thông số cơ học của cát biển, phù hợp với vật liệu hạt có độ bám dính thấp. Mẫu thử có kích thước 39 mm (đường kính) x 76 mm (chiều cao), được chuẩn bị trong khuôn với khối lượng cát tính toán dựa trên thể tích khuôn và khối lượng đơn vị khô tối ưu từ thí nghiệm Proctor. Các công cụ kim loại được sử dụng để xáo nhẹ mẫu trong quá trình nén, ngăn chặn hiện tượng phân tầng. Thiết bị thí nghiệm bao gồm buồng nén ba trục, buồng đo thay đổi thể tích, buồng cung cấp áp suất, máy tải trục, thiết bị đọc dữ liệu từ các kênh, và màn hình hiển thị kết quả. Kết quả cung cấp các thông số quan trọng (trình bày chi tiết tại phần 4) như góc ma sát trong (φ) và độ bám dính (c), hỗ trợ đánh giá hiệu quả của cát biển trong GEC.

Hình 1. Mẫu cát biển tại Xuyên Mộc, TP. Hồ Chí Minh

Hình 2. Ảnh vệ tinh từ Google Earth khu vực lấy mẫu cát biển

Hình 3. Chế bị mẫu cho thí nghiệm Proctor

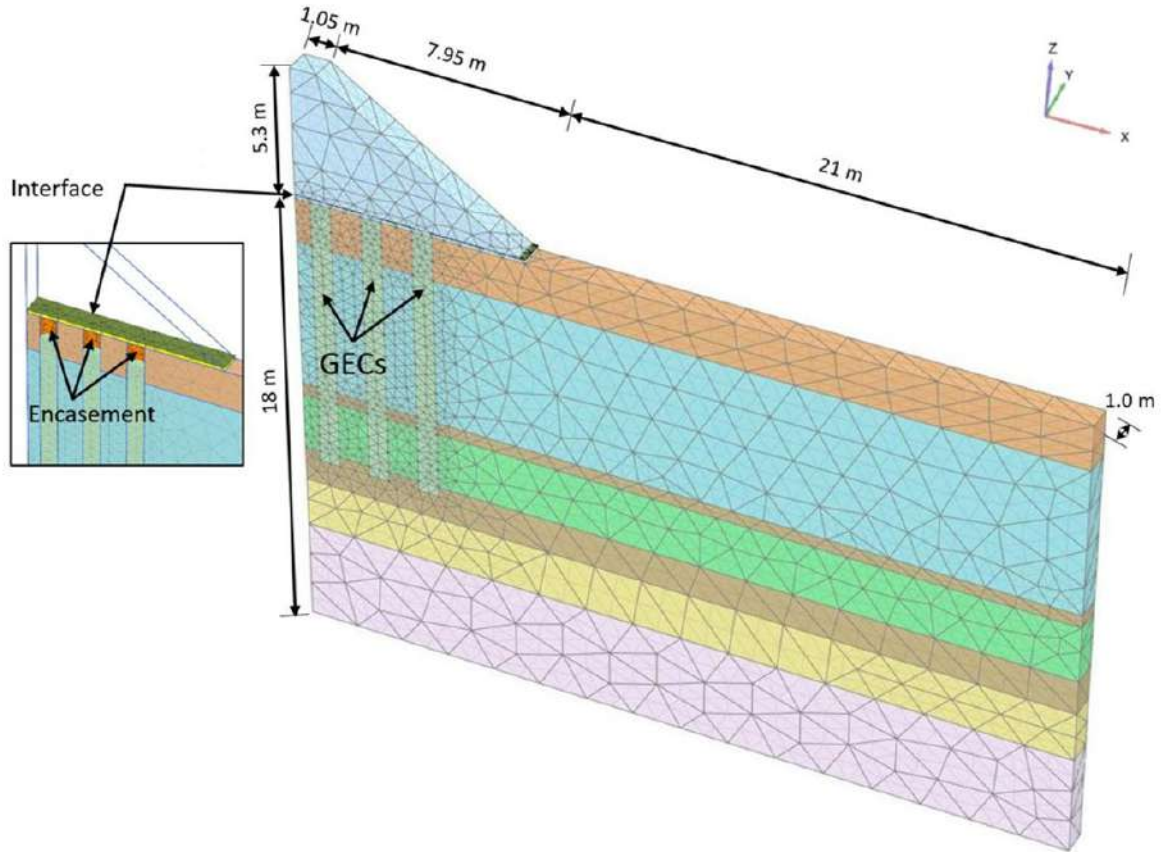
Hình 4. Thí nghiệm ba trục với mẫu cát biển

4. Mô phần tử hữu hạn cho giải pháp GEC

Nghiên cứu của Hosseinpour và nnk (2019) được lựa chọn để phát triển mô hình số cho nghiên cứu này. Trong đó, thí nghiệm với tỷ lệ 1:1 được thực hiện với một khối đắp được xây dựng trên tầng đất sét yếu, được cải thiện bằng hệ thống cột cát bọc vải địa kỹ thuật (GEC). Khối đắp có chiều cao 5.3 m, tỷ lệ dốc 1V:1.5H, và kích thước mặt bằng vuông 18 m×18 m. Các thông số cơ lý của vật liệu đắp được trình bày tại Bảng 1. Khối đắp được thi công theo giai đoạn với các chiều cao lần lượt là 1.5 m, 3.0 m, 4.3 m trước khi đạt chiều cao cuối cùng là 5.3 m. Hệ thống GEC bao gồm 36 cột (sắp xếp dạng lưới 6×6), mỗi cột có đường kính 0.8 m, dài 11 m, và khoảng cách giữa các tâm cột là 2.0 m, tương ứng với tỷ lệ thay thế diện tích là 0.125. Một lớp lưới địa kỹ thuật được đặt phía trên hệ thống cột. Mực nước ngầm nằm ở độ sâu 1.8 m.

Mô phỏng số, bao gồm cả FEM, đã được sử dụng trong nhiều nghiên cứu để mô phỏng ứng xử của vật liệu địa kỹ thuật và các giải pháp cọc (Phạm và nnk, 2024; Nguyễn và nnk, 2025; Vũ và nnk, 2025) . Mô hình FEM 3D được sử dụng trong nghiên cứu này để so sánh kết quả tính toán lún và ứng suất phân phối cho giải pháp GEC. Do tính đối xứng của khối đắp, chỉ một nửa chiều gang của công trình được mô phỏng với kích thước chiều ngang là 9 m, chiều sâu 1 m, và chiều

ngang tổng cộng của mô hình được mở rộng đến 30 m để tránh ảnh hưởng của biên. Mô hình sử dụng phần tử hữu hạn tam giác 10 nút với lưới trung bình, kích thước phần tử tối đa là 2.7 m và trung bình là 0.8 m, như thể hiện trong Hình 5. Về điều kiện biên, hai loại biên được áp dụng là biên chuyển vị và biên thấm. Đối với chuyển vị, tất cả các dịch chuyển được cố định, trừ dịch chuyển thẳng đứng để đánh giá độ lún.



Hình 5. Mô hình số FEM

Mô hình Mohr-Coulomb được sử dụng cho vật liệu đắp, vật liệu truyền thống GEC, cát biển, lớp cát nền, cát trung và cát chặt (Bảng 1). Các tầng đất sét bao gồm đất sét mềm I, II và đất sét cứng) được mô phỏng bằng mô hình Soft Soil (Bảng 2). Lớp vật liệu địa kỹ thuật được đặt phía trên các cột với độ bền kéo J = 2200 kN/m, trong khi vải địa kỹ thuật bọc cột có độ bền kéo J_e = 1750 kN/m. Một bề mặt tương tác (interface) được tạo cho lớp lưới địa kỹ thuật để mô phỏng tương tác giữa các vật liệu. Các thông số vật liệu và cấu hình mô hình được thiết lập dựa trên dữ liệu thực nghiệm từ trường hợp tham chiếu, đảm bảo tính chính xác của mô phỏng số.

Bảng 1. *Thông số vật liệu với mô hình Mohr-Coulomb sử dụng cho mô hình số FEM*

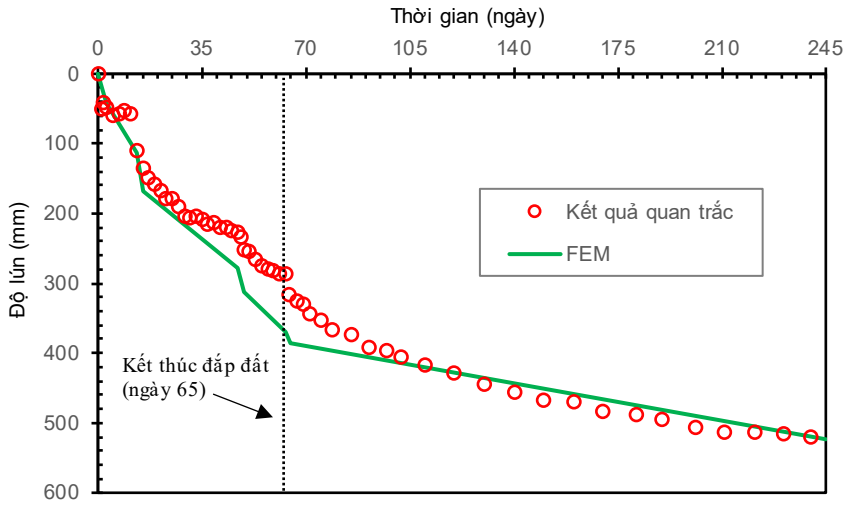
Vật liệu	Dung trọng (kN/m³)	Góc ma sát trong (°)	Lực dính đơn vị (kPa)	Hệ số Poisson	Mô đun tổng biến dạng (MPa)
Vật liệu đắp	28	45	0	0.3	53
Vật liệu truyền thống (GEC)	20	40	0	0.3	80
Cát biển (GEC)	17.25	41.13	1.1	0.16	29
Cát nền	19.7	33	3	0.3	12
Cát trung	18.5	30	0	0.3	22
Cát chặt	20	28	0	0.3	30

Bảng 2. *Thông số vật liệu với mô hình Soft Soil sử dụng cho mô hình số FEM*

Vật liệu	Dung trọng (kN/m^3)	Góc ma sát trong (°)	Lực dính đơn vị (kPa)	Hệ số nén (Cc)	Hệ số nở (Cs)	Độ thấm ngang (Kv) (m/ngày)	Độ thấm dọc (K_h) (m/ngày)	Hệ số rỗng ban đầu (e_0)	Giá trị OCR
Sét mềm I	14.4	26	4	0.98	0.084	1.6×10^{-5}	5.2×10^{-6}	2.81	1.35
Sét mềm II	16.8	28	6	0.13	0.025	9.7×10^{-6}	4.8×10^{-6}	2.12	1.04
Sét cứng	17.8	30	12	0.09	0.0081	3.3×10^{-2}	1.6×10^{-2}	0.87	1.0

5. Kết quả

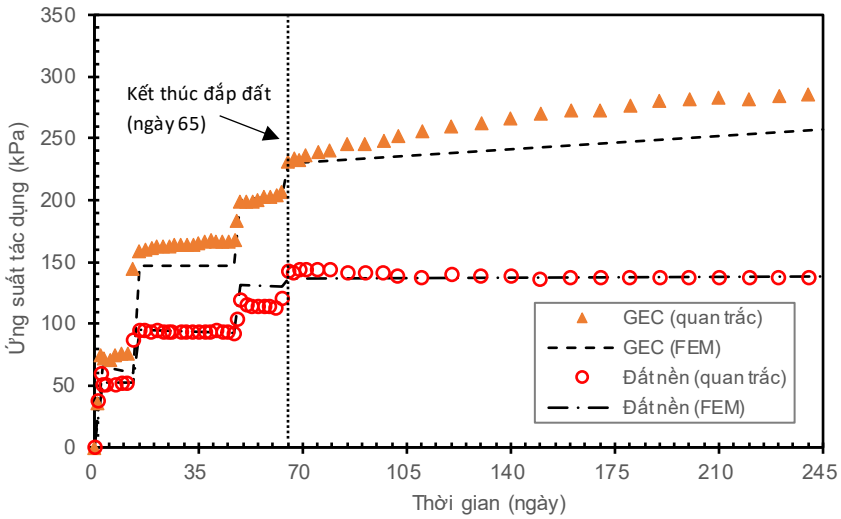
Kết quả về độ lún của đất nền và ứng suất phân bố từ mô hình số FEM được phân tích và so sánh với kết quả quan trắc, ghi nhận bởi Hosseinpour và nnk (2019). Hình 6 trình bày kết quả so sánh độ lún của đất nền trong tổng cộng 245 ngày bao gồm giai đoạn thi công khối đắp và quá trình lún cố kết. Nhìn chung, quá trình lún của đất nền mô phỏng từ mô hình FEM rất tương đồng với kết quả quan trắc lún. Độ lún tăng mạnh nhất trong quá trình xây dựng khối đắp, tiếp tục tăng trong quá trình cố kết trước khi đạt giá trị tối đa vào ngày thứ 245.



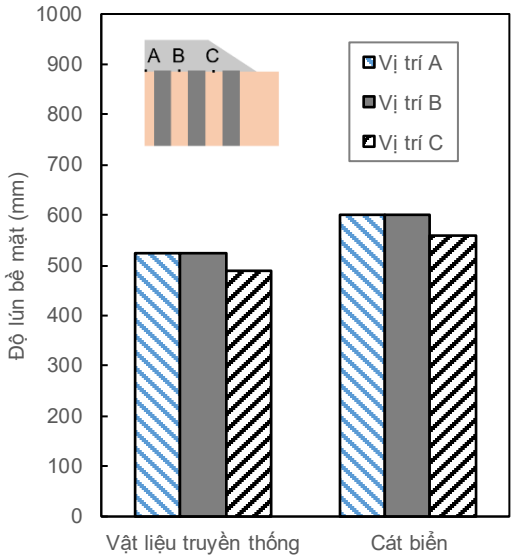
Hình 6. So sánh độ lún của đất nền giữa kết quả quan trắc và mô phỏng số (FEM)

Hình 7 trình bày kết quả so sánh ứng suất tác động giữa mô hình phần tử hữu hạn (FEM) và dữ liệu quan trắc trong suốt 245 ngày, bao gồm giai đoạn thi công khối đắp và quá trình lún cố kết. Kết quả được chia thành hai nhóm chính: ứng suất phân bố trên GEC trên nền đất yếu. Đối với ứng suất trên cột GEC, dữ liệu quan trắc cho thấy giá trị ứng suất tăng nhanh trong giai đoạn thi công khối đắp, sau đó đạt giá trị tối đa ở cuối thời gian tính toán. Kết quả từ mô hình FEM có xu hướng tương đồng, với giá trị ứng suất tăng dần và đạt mức giá trị tối đa tương tự. Tuy nhiên, mô hình FEM có xu hướng dự đoán giá trị ứng suất cao hơn quan trắc một chút trong giai đoạn cố kết, có thể do giả định về tính đồng nhất của đất yếu hoặc tốc độ truyền tải ứng suất trong mô hình.

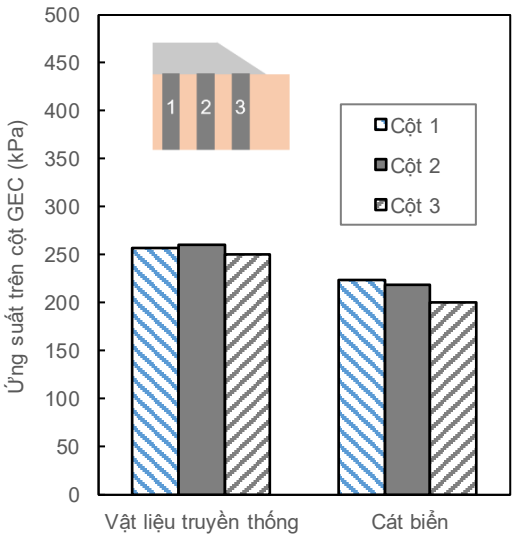
Tương tự như với GEC, dữ liệu quan trắc đối với ứng suất trên nền đất yếu cho thấy giá trị ứng suất tăng mạnh trong giai đoạn thi công, sau đó ổn định ở mức khoảng 140kPa đến ngày thứ 245. Mô hình FEM phản ánh xu hướng tương tự, với kết quả đạt độ phù hợp cao với dữ liệu quan trắc. Nhìn chung, sự tương đồng giữa kết quả mô phỏng và quan trắc khẳng định tính chính xác của mô hình FEM trong việc tái hiện hành vi ứng suất của hệ thống GEC.



Hình 7. So sánh ứng suất trên cột GEC và đất nền giữa kết quả quan trắc và mô phỏng số (FEM)



Hình 8. So sánh độ lún bề mặt ở các vị trí khác nhau trên bề mặt đất nền

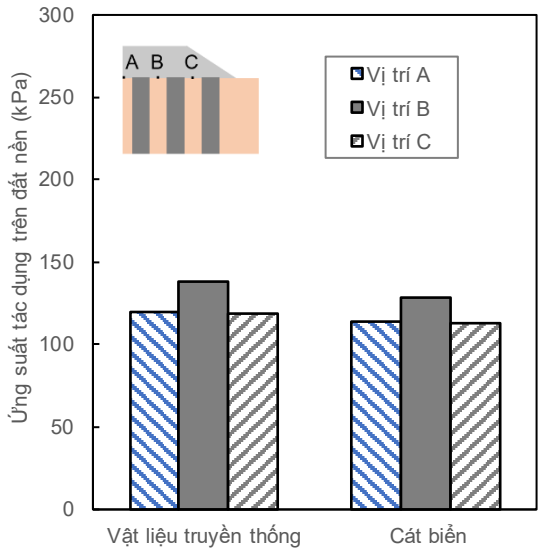


Hình 9. So sánh ứng suất phân bố trên cột GEC giữa hai trường hợp vật liệu

Sau khi mô hình FEM được kiểm chứng, cát biển được thay thế vật liệu truyền thống cho GEC. Hình 8 so sánh độ lún đất nền tại các vị trí khác nhau giữa các cọc. Kết quả cho thấy khi sử dụng cát biển, độ lún bề mặt đất gia tăng một khoảng tối đa là 15%. Kết quả phân tích lún tại 3 vị trí khác nhau đều cho thấy ảnh hưởng của chiều cao khối đắp tới giá trị lún. Ở những vị trí gần trung tâm khối đắp (điểm A, B trên Hình 8), độ lún lớn hơn vị trí C, ở gần góc dốc của khối đắp.

Hình 9 trình bày kết quả tính toán lún phân bố trên các cột GEC cho hai trường hợp vật liệu được sử dụng. Kết quả này được tính cho thời điểm 245 ngày từ khi bắt đầu xây dựng khối đắp. Vì sự khác biệt giữa đặc trưng kháng cắt của vật liệu, ứng suất tập trung vào GEC là nhỏ hơn so với trường hợp sử dụng vật liệu truyền thống. Giá trị chênh lệch lớn nhất được ghi nhận là 16% cho cột thứ 3.

Hình 10 trình bày giá trị ứng suất tính toán phân bố trên đất nền tại các vị trí khác nhau cho hai trường hợp sử dụng vật liệu truyền thống và cát biển. Việc sử dụng cát biển dường như không tạo ra khác biệt về ứng suất phân bố trên nền đất yếu so với trường hợp sử dụng vật liệu truyền thống.



Hình 10. So sánh ứng suất phân bố trên đất nền giữa hai trường hợp vật liệu

6. Kết luận và kiến nghị

Nghiên cứu đánh giá tiềm năng sử dụng cát biển thay thế vật liệu truyền thống trong cột vật liệu rời bọc vải địa kỹ thuật (GEC) để gia cường nền đất yếu. Mô hình FEM được phát triển và thành công trong việc mô phỏng giải pháp GEC dựa trên dữ liệu tham chiếu. Cát biển tại khu vực Thành phố Hồ Chí Minh được thí nghiệm và phân tích các đặc trưng cơ lý. Tiềm năng sử dụng cát biển để làm vật liệu cho giải pháp GEC được ghi nhận khi độ lún tăng 15% và ứng suất trên cột GEC giảm 16% khi dùng cát biển thay cho vật liệu truyền thống. Sự khác biệt là không lớn. Kết quả khẳng định khả năng ứng dụng cát biển, góp phần giải quyết khan hiếm cát sông tại Việt Nam.

Nghiên cứu chưa xem xét tác động môi trường như nguy cơ ăn mòn, sạt lở bờ biển hay ảnh hưởng đến hệ sinh thái, đồng thời thiếu các thí nghiệm thực tế quy mô lớn với cát biển và sử dụng mô hình số đơn giản hóa, bỏ qua các tạp chất như muối. Để phát triển, cần nghiên cứu tác động môi trường và đề xuất biện pháp giảm thiểu, thực hiện thí nghiệm hiện trường với cát biển, xử lý cát biển để cải thiện đặc tính cơ học, đồng thời tinh chỉnh mô hình số để tích hợp các yếu tố phức tạp hơn. Ngoài ra, những nghiên cứu sau này có thể đánh giá ảnh hưởng của mực nước ngầm, đặc trưng của vật liệu địa kỹ thuật và phân tích thông số cơ lý của cát biển tới hiệu quả của giải pháp GEC. Nghiên cứu này đặt nền tảng cho việc ứng dụng cát biển trong các giải pháp địa kỹ thuật, hướng tới phát triển cơ sở hạ tầng bền vững tại Việt Nam.

Tài liệu tham khảo

Chen, J. F., Li, L. J., Xue, J. F., Feng, S. J., 2015. Failure mechanism of geosynthetic-encased stone columns in soft soils under embankment, Geotextiles and Geomembranes, (2015) 1-8. http://dx.doi.org/10.1016/j.geotexmem.2015.04.016

EBGEO, 2011. Recommendations for Design and Analysis of Earth Structures Using Geosynthetic Reinforcements e EBGEO. Deutsche Gesellschaft fr Geotechnik eV./German Geotechnical. John Wiley & Sons.

Hosseinpour, I., Soriano, C., Almeida, M. S. S., 2019. A comparative study for the performance of encased granular columns, Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 11 (2019) 379-388. https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2018.12.002

Nguyễn, V.P., Phạm, D.H., Bùi, P.D., Bùi, N.T., Nguyễn, D.V.A., 2021. Research the possibility of using sea sand in roadbed construction in Vietnam, International Journal of GEOMATE, 20. 10.21660/2020.77.47890.

Nguyễn, T. C. B., Vũ, D. L., Phạm, M. T., Đỗ, N. A., Piotr, O., 2025. 3D Numerical Investigation of Soil Arching in Deep Cement Mixing and Stiffened Deep Cement Mixing Pile-Supported Embankments, Transportation Infrastructure Geotechnology, (2025) 12:13. https://doi.org/10.1007/s40515-024-00457-9

Yoo, C., 2010. Performance of geosynthetic-encased stone columns in embankment construction: numerical investigation, J. Geotech. Geoenviron. Eng., 136 (8). https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000316

Xiao, J. , Qiang, C., Nanni, A., Zhang, K., 2017. Use of sea-sand and seawater in concrete construction: Current status and future opportunities, Construction and Building Materials, Volume 155, 2017, Pages 1101-1111. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.130.

Phạm, M. T., Nguyễn, D. D., Nguyễn, T. D., Phạm, V. H., 2024. Numerical Investigation of Load Transfer in Geosynthetic-Reinforced Embankments Over Cavities: Effects of Opening Process and Cyclic Loading, Geotech Geol Eng, vol. 42, pp. 7287-7306. https://doi.org/10.1007/s10706-024-02927-w

Vũ, D. L., Phạm, M. T., Phạm, S. T., Võ, T. L., 2025. Numerical Study of Load Transfer within Geosynthetic-Reinforced Embankment Based on Multiple Trapdoor Tests, Civil Engineering and Architecture, vol. 13, no. 2, pp. 1126-1139. https://doi.org/10.13189/cea.2025.130229.

Study on Potential Use of Marine-Origin Sand in Geosynthetic-Encased Granular Column Solutions for Reinforcing Load-Bearing Embankments on Soft Soils

Pham Minh Tuan[1*], Le Tran Thien Phuoc[1], Vo Thanh Long[1], To Viet Nam[1]

[1]Ho Chi Minh City University of Technology, Vietnam National University Ho Chi Minh City

**Corresponding author: pmtuan@hcmut.edu.vn*

Abtract

This study evaluates the potential of using sea sand as a substitute for river sand in geosynthetic-encased granular columns (GEC) to reinforce embankments on weak soil foundations, addressing the scarcity of river sand in Vietnam. Utilizing numerical simulation with PLAXIS 3D software, based on a full-scale loading test by Hosseinpour et al. (2019), the research developed a 3D model to verify settlement and stress, while comparing the effectiveness of GEC using sea sand and traditional materials. Results indicate that sea sand increases maximum settlement by 15% and reduces stress on GEC columns by 16%, but it has no significant impact on stress in the weak soil foundation. The mechanical properties of sea sand from Xuyen Moc, Ho Chi Minh City, were determined through Proctor and triaxial compression tests. The findings lay the groundwork for applying sea sand in geotechnical engineering, though further research on sea sand processing and environmental impacts is needed to ensure feasibility and sustainability.

Keywords: Marine sand, GEC, geosynthetics, FEM.

XÂY DỰNG BẢN ĐỒ QUẢN LÝ TÀI NGUYÊN MỎ CÁT TRÊN ĐỊA BÀN TỈNH ĐỒNG THÁP ỨNG DỤNG NỀN TẢNG GOOGLE MAPS

Trần Phương Duy[1*], Nguyễn Thị Ngọc Hiền[1], Trần Quốc Kiệt[1], Nguyễn Ngọc Quy[1], Lê Văn Phúc[1] và Võ Phú Toàn[1]

[1]Trường Đại học Đồng Tháp, Việt Nam

**Tác giả liên hệ: Email: tranphuongduygff@gmail.com*

Tóm tắt

Bài báo trình bày giải pháp xây dựng bản đồ số thông tin mỏ cát trên địa bàn tỉnh Đồng Tháp ứng dụng nền tảng Google Maps, góp phần hiện đại hóa công tác quản lý khoáng sản trong bối cảnh chuyển đổi số. Nghiên cứu thu thập, chuẩn hóa và số hóa dữ liệu chính xác từ các nguồn quản lý nhà nước, sau đó tích hợp lên bản đồ số với chức năng tìm kiếm, truy xuất thông tin chi tiết về vị trí, trữ lượng, tình trạng khai thác từng mỏ cát. Kết quả cho thấy, hệ thống bản đồ không chỉ nâng cao tính minh bạch, hiệu quả giám sát và quản lý tài nguyên mà còn cho phép cập nhật, chia sẻ dữ liệu linh hoạt, giảm thiểu chi phí và nguồn lực so với các phương pháp truyền thống. Cụ thể, hệ thống đã tích hợp dữ liệu cho gần 30 mỏ cát (số liệu đến Quý 2 năm 2025), giảm thời gian tra cứu thông tin, và đạt mức độ hài lòng người dùng rất cao từ nhóm kiểm thử. Giải pháp này là tiền đề hướng tới số hóa toàn diện ngành khoáng sản địa phương, đồng thời mở rộng khả năng tham khảo và áp dụng cho các lĩnh vực quản lý tài nguyên khác

Từ khóa: Chuyển đổi số, Google Maps, Mỏ cát, Số hóa, Quản lý tài nguyên, tỉnh Đồng Tháp.

1. Đặt vấn đề

Tỉnh Đồng Tháp, với đặc thù địa lý nằm trong khu vực Đồng bằng sông Cửu Long, có hệ thống sông ngòi dày đặc và phong phú về trữ lượng cát, là nơi có tiềm năng lớn về khai thác tài nguyên này. Mỏ cát Tân Châu và Hồng Ngự nằm ở thượng nguồn của sông Tiền giáp với Campuchia có chất lượng tốt hơn cả để đáp ứng cho công tác xây dựng, cát có mô đun độ lớn từ 1.4 đến 2.24, hàm lượng bụi sét và tạp chất hữu cơ đều thấp và nằm trong giới hạn cho phép (Đức & cs, 2021). Tuy nhiên, tình trạng khai thác cát trái phép, không kiểm soát, cùng với sự hạn chế trong công tác quản lý hiện nay đang đặt ra nhiều thách thức cho chính quyền địa phương (Hoành & Hùng, 2016). Các phương pháp quản lý truyền thống, dựa trên tài liệu giấy hoặc các hệ thống thông tin không đồng bộ, thường gặp khó khăn trong việc giám sát, chia sẻ và cập nhật dữ liệu. Điều này không chỉ làm giảm hiệu quả quản lý mà còn làm tăng nguy cơ thất thoát tài nguyên và gây ra bất ổn xã hội.

Trong bối cảnh chuyển đổi số đang được thúc đẩy mạnh mẽ, việc ứng dụng công nghệ trong quản lý tài nguyên khoáng sản không chỉ là một giải pháp cần thiết mà còn là một xu hướng tất yếu. Các công nghệ bản đồ số, đặc biệt là nền tảng Google Maps, với tính năng trực quan, dễ tiếp cận và phổ biến rộng rãi, mang lại cơ hội lớn để cải thiện hiệu quả quản lý và giám sát tài nguyên. Bằng cách số hóa và tích hợp dữ liệu vào Google Maps, có thể xây dựng một hệ thống bản đồ tương tác, cung cấp thông tin chi tiết về vị trí, trữ lượng, tình trạng khai thác của các mỏ cát và hỗ trợ đưa ra các quyết định quản lý kịp thời. Đồng thời, hệ thống này cũng giúp tăng tính minh bạch, cải thiện khả năng tiếp cận thông tin của cộng đồng, doanh nghiệp và các bên liên quan khác.

Dựa trên nhu cầu thực tiễn và tiềm năng ứng dụng công nghệ số, nghiên cứu này tập trung vào việc xây dựng bản đồ mỏ cát trên địa bàn tỉnh Đồng Tháp thông qua nền tảng Google Maps. Mục tiêu chính của nghiên cứu là phát triển một công cụ quản lý trực quan, hiệu quả, hỗ trợ giám sát tài nguyên cát, đồng thời góp phần giảm thiểu chi phí, tiết kiệm thời gian so với các phương pháp truyền thống. Ngoài ra, nghiên cứu còn hướng đến việc thúc đẩy chuyển đổi số trong lĩnh vực quản lý tài nguyên khoáng sản, góp phần xây dựng một nền tảng quản lý hiện đại và bền vững cho địa phương.

2. Tổng quan

2.1 Các nghiên cứu ngoài nước

Trên thế giới, ứng dụng các công nghệ hiện đại như viễn thám, GIS/WebGIS, và mô hình hóa 3D trong lập bản đồ, giám sát và quản lý các mỏ cát đã và đang trở thành xu hướng nổi bật trong nghiên cứu tài nguyên khoáng sản. Tại Indonesia, Nurhasan và Saputra (2018) đã phát triển hệ thống WebGIS tích hợp chức năng định vị địa lý (GeoLocation), hỗ trợ lập bản đồ và quản lý khu vực khai thác cát, qua đó cung cấp dữ liệu địa lý chi tiết và đồng bộ, giúp nâng cao hiệu quả quản lý nguồn tài nguyên nước này. Ở Mỹ, Miao và cộng sự (2020) ứng dụng kỹ thuật viễn thám kết hợp mô hình ảnh ba chiều (3D photogrammetry) để xác định đồng thời vị trí, trữ lượng, chất lượng và đặc điểm địa chất của các mỏ cát sỏi, giúp đẩy nhanh tốc độ đánh giá tài nguyên, tăng độ an toàn, đặc biệt ở các khu vực khó tiếp cận và nguy hiểm, đồng thời tăng hiệu suất quản lý khai thác.

Tại Malaysia, các công nghệ lập bản đồ hiện đại cũng cho thấy tiềm năng lớn trong việc cung cấp dữ liệu chính xác, kịp thời, góp phần giúp cơ quan chức năng xây dựng các chính sách khai thác hợp lý, bền vững, cân bằng giữa phát triển kinh tế và bảo vệ môi trường (Ali & cs, 2025). Nhìn chung, các giải pháp công nghệ trên đã và đang tạo nền tảng để chuyển đổi số mạnh mẽ lĩnh vực quản lý tài nguyên khoáng sản ở nhiều quốc gia phát triển và đang phát triển.

2.2 Các nghiên cứu trong nước

Các công trình nghiên cứu trước đây về xây dựng bản đồ mỏ cát và quản lý tài nguyên chủ yếu tập trung vào các hướng tiếp cận chính: sử dụng viễn thám và GIS để lập bản đồ hiện trạng sử dụng đất, đánh giá chất lượng môi trường liên quan đến khai thác cát, và mô hình hóa tác động của hoạt động khai thác cát đến hình thái sông, trầm tích.

Cụ thể, nghiên cứu của Nguyễn và cộng sự (2022) đã ứng dụng ảnh vệ tinh Sentinel-2 kết hợp với phương pháp truyền thống để lập bản đồ sử dụng đất tại Tháp Mười, cho thấy viễn thám giúp cập nhật nhanh, tiết kiệm chi phí và nâng cao độ chính xác so với phương pháp thủ công. Trong khi đó, Phan Kim Anh và cộng sự sử dụng GIS để phân tích không gian - thời gian chất lượng nước mặt tại Đồng Tháp, chỉ ra rằng các thông số như TSS, BOD, COD, N-NH4+, P-PO43-, coliforms và E. coli bị ảnh hưởng mạnh bởi hoạt động khai thác cát, xói lở bờ sông và nước thải sinh hoạt, qua đó nhấn mạnh vai trò của bản đồ số trong giám sát môi trường.

Ứng dụng viễn thám kết hợp học sâu đã được Kumar và cộng sự (2023) phát triển để nhận diện và lập bản đồ hoạt động khai thác cát trên sông, điển hình tại Đồng bằng sông Cửu Long. Mô hình này sử dụng ảnh vệ tinh Sentinel-1 để phát hiện tàu khai thác cát, từ đó ước tính sản lượng khai thác hàng năm với độ chính xác cao. Phương pháp này có tiềm năng áp dụng cho các đồng bằng lớn trên thế giới đang đối mặt với khai thác cát quá mức.

Các kết quả này cho thấy ứng dụng các công nghệ hiện đại như viễn thám, GIS và học sâu trong quản lý, giám sát mỏ cát không chỉ giúp cập nhật thông tin nhanh chóng, tiết kiệm chi phí mà còn nâng cao tính minh bạch và hiệu quả quản lý môi trường đồng thời đặt nền tảng cho chuyển đổi số lĩnh vực tài nguyên khoáng sản tại Việt Nam.

2.3 Đánh giá

Các công nghệ hiện đại như viễn thám, mô hình ảnh ba chiều (3D photogrammetry), hệ thống thông tin địa lý (GIS) và các nền tảng số hóa đang đóng vai trò quan trọng trong quản lý tài nguyên, đặc biệt là khai thác cát. Ưu điểm nổi bật của các phương pháp này là khả năng thu thập dữ liệu nhanh, chính xác và an toàn tại các khu vực khó tiếp cận. Theo Miao và cộng sự (2020), viễn thám và mô hình 3D giúp phân tích các đặc tính như độ dày, thành phần và hướng dòng chảy mà không cần khảo sát thực địa, qua đó tiết kiệm thời gian và giảm rủi ro.

Bên cạnh đó, hệ thống GIS và webGIS hỗ trợ trực quan hóa dữ liệu, cập nhật thông tin liên tục, phục vụ quá trình ra quyết định và quản lý hiệu quả hơn. Các nền tảng này cũng tạo điều kiện cho cộng đồng tham gia giám sát tài nguyên, góp phần kiểm soát khai thác trái phép và giảm thiểu

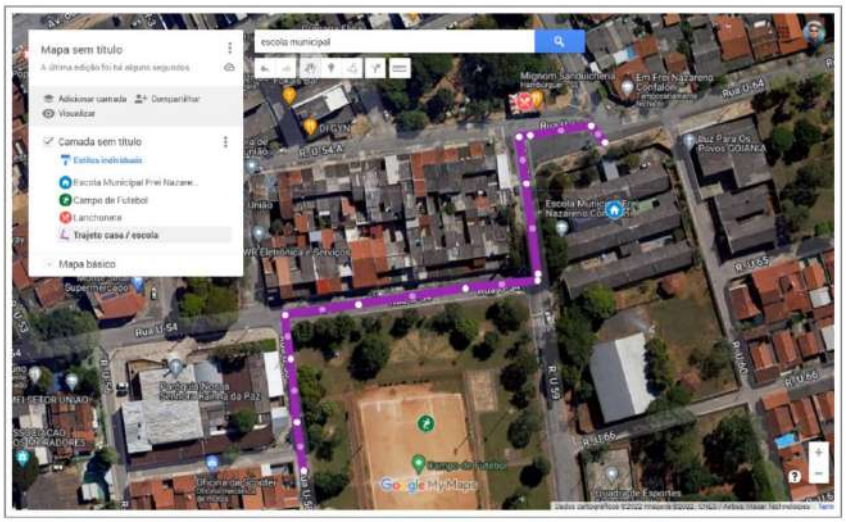
tác động môi trường như sạt lở, xâm nhập mặn hay suy thoái sinh kế (Bayazidy & cs, 2024; Park, 2024).

Tuy nhiên, việc ứng dụng các công nghệ này cũng gặp nhiều hạn chế. Một trong những thách thức chính là thiếu dữ liệu đầu vào đồng bộ, đặc biệt tại các nước đang phát triển, nơi hoạt động khai thác còn thiếu minh bạch. Ngoài ra, chi phí đầu tư ban đầu cao và yêu cầu đội ngũ chuyên môn cũng làm giảm khả năng triển khai ở cấp địa phương (Miao & cs, 2020). Các công nghệ hiện đại cũng ít tích hợp được các yếu tố xã hội và sinh kế cộng đồng. Matovu và cộng sự (2024) nhấn mạnh rằng việc lập bản đồ chỉ hiệu quả khi đi kèm khung pháp lý rõ ràng và có sự phối hợp giữa các bên liên quan. Cuối cùng, các hệ thống giám sát cộng đồng hoặc tự động cũng đối mặt với vấn đề về độ tin cậy và chất lượng dữ liệu thu thập được (Bayazidy & cs, 2024).

3. Google Maps

3.1 Giới thiệu

Google Maps là một nền tảng bản đồ trực tuyến miễn phí của Google, cho phép người dùng tự tạo, chỉnh sửa và chia sẻ các bản đồ tùy chỉnh, hướng đến việc xây dựng các lớp thông tin địa lý cá nhân hóa, phù hợp cho nhiều mục đích như học tập, nghiên cứu, quản lý tài nguyên, du lịch hoặc tổ chức sự kiện. Người dùng có thể thêm điểm đánh dấu (marker), đường đi, vùng đa giác, hình ảnh, video và ghi chú lên bản đồ, giúp trực quan hóa thông tin không gian một cách sinh động và dễ hiểu. Người dùng có thể nhập dữ liệu từ bảng tính (CSV, XLSX), tệp KML hoặc Google Drive để tự động hóa quá trình tạo bản đồ. Google My Maps, một nền tảng trong Google Maps cho phép nhiều người cùng chỉnh sửa bản đồ, thúc đẩy hoạt động cộng đồng và chia sẻ kiến thức địa lý một cách linh hoạt (Da Silva & cs, 2022).



Hình 1. Sử dụng Google Maps trong dạy học dành cho học sinh lớp 2.
Nguồn: Da Silva & cs. (2022).

Từ đó, ứng dụng này được đánh giá là công cụ hữu ích trong hệ thống hóa kiến thức địa lý một cách công nghệ, năng động và gắn với thực tiễn địa phương. Ngoài ra, nền tảng này còn phù hợp cho các dự án quản lý tài nguyên, giám sát môi trường, lập kế hoạch phát triển đô thị hoặc du lịch.

3.2 Cơ sở ứng dụng Google Maps

Ứng dụng nền tảng Google Maps trong lập bản đồ và quản lý mỏ cát đang ngày càng được quan tâm nhờ tính trực quan, linh hoạt và khả năng tiếp cận rộng rãi. Nền tảng cho phép người dùng dễ dàng tạo và chỉnh sửa các lớp bản đồ, tích hợp dữ liệu vị trí, hình ảnh, video và các ghi chú mô tả, từ đó xây dựng nên một hệ thống thông tin địa lý đơn giản nhưng hiệu quả. Ưu điểm nổi bật là Google Maps không đòi hỏi người dùng có kiến thức chuyên sâu về GIS, phù hợp với nhiều nhóm đối tượng như cán bộ quản lý, nhà nghiên cứu và cả người dân địa phương. Điều này

góp phần tăng tính minh bạch trong hoạt động khai thác khoáng sản, hỗ trợ giám sát biến động không gian, đánh giá tác động môi trường và phát hiện các điểm khai thác mới (Bayazidy & cs, 2024; Matovu & cs, 2024). Đồng thời, việc chia sẻ bản đồ dễ dàng qua các nền tảng số cũng giúp nâng cao hiệu quả phối hợp giữa các bên liên quan và sự tham gia của cộng đồng.

Tuy nhiên, Google Maps cũng tồn tại một số hạn chế đáng chú ý. Độ phân giải ảnh nền chưa đủ để phát hiện các hoạt động khai thác nhỏ lẻ, nhất là tại các khu vực có thảm thực vật dày hoặc địa hình phức tạp. Nền tảng này chủ yếu phản ánh thông tin bề mặt và không hỗ trợ tốt cho việc phân tích các đặc điểm địa chất sâu hay trữ lượng tài nguyên - những nội dung cần sự hỗ trợ từ các phương pháp khảo sát chuyên sâu hoặc phần mềm GIS chuyên dụng (Nursamsi & cs, 2024). Ngoài ra, việc cập nhật dữ liệu phụ thuộc vào người sử dụng, nên thiếu sự phối hợp đồng bộ có thể dẫn đến tình trạng dữ liệu thiếu hụt hoặc lỗi thời. Các vấn đề liên quan đến bảo mật, quyền riêng tư và tích hợp với các hệ thống dữ liệu lớn cũng là những thách thức khi triển khai ở quy mô rộng.

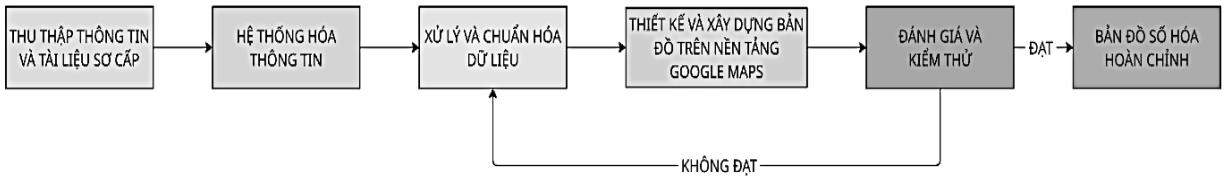
Về mặt cơ sở ứng dụng, nghiên cứu lựa chọn Google Maps thay cho các phần mềm GIS truyền thống nhằm hướng đến giải pháp số dễ áp dụng, thân thiện với người dùng và tiết kiệm chi phí. Cách tiếp cận này phù hợp với điều kiện thực tiễn tại địa phương như tỉnh Đồng Tháp, giúp mở rộng khả năng tiếp cận thông tin, tăng cường giám sát xã hội và góp phần thúc đẩy chuyển đổi số trong lĩnh vực quản lý tài nguyên thiên nhiên.

***Bảng 1**. So sánh giữa nền tảng Google Maps và GIS chuyên dụng.*

Tiêu chí	**Google Maps**	**GIS chuyên dụng (ArcGIS, QGIS)**	**Ghi chú**
Chi phí	Miễn phí (Google My Maps), không cần đầu tư phần mềm hoặc cơ sở hạ tầng.	Yêu cầu chi phí bản quyền (ArcGIS) hoặc chi phí đào tạo, bảo trì (QGIS).	Phù hợp với địa phương có ngân sách hạn chế như Đồng Tháp.
Tính dễ sử dụng	Giao diện trực quan, không yêu cầu chuyên môn GIS, phù hợp cho cán bộ và người dân.	Yêu cầu kiến thức GIS, lập trình (Python, R), khó cho người không chuyên.	Google Maps dễ tiếp cận hơn cho quản lý và giám sát cộng đồng.
Khả năng truy cập và chia sẻ	Truy cập trực tuyến qua trình duyệt, di động, mã QR; hỗ trợ cộng tác.	Phụ thuộc phần mềm cài đặt, chia sẻ phức tạp (shapefile, máy chủ nội bộ).	Google Maps hỗ trợ giám sát cộng đồng, minh bạch hóa thông tin.
Tích hợp và trực quan hóa	Tích hợp dữ liệu nhanh (CSV, KML), dễ tùy chỉnh marker/polygon, hiển thị thông tin động.	Phân tích không gian mạnh nhưng tùy chỉnh giao diện phức tạp, tốn thời gian.	Google Maps đơn giản hóa thiết kế bản đồ mỏ cát.
Hỗ trợ đa nền tảng	Ổn định trên nhiều thiết bị (PC, di động) và trình duyệt (Chrome, Firefox, Edge).	Phụ thuộc cấu hình phần cứng/phần mềm, có thể gặp vấn đề tương thích.	Google Maps tận dụng hạ tầng đám mây, tốc độ tải nhanh.
Minh bạch và giám sát cộng đồng	Dễ công khai, hỗ trợ người dân tra cứu thông tin mỏ cát qua điện thoại.	Chủ yếu phục vụ chuyên gia, ít hỗ trợ giám sát cộng đồng.	Tăng tính minh bạch trong quản lý tài nguyên tại Đồng Tháp.

4. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu này được thực hiện theo hướng ứng dụng thực tiễn, kết hợp giữa khảo sát thực địa, thu thập dữ liệu thứ cấp và xử lý thông tin trên nền tảng bản đồ số. Cụ thể, phương pháp nghiên cứu bao gồm các bước như Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ khối phương pháp nghiên cứu

4.1 Thu thập thông tin và tài liệu sơ cấp

Trong giai đoạn đầu của nghiên cứu, tác giả tiến hành thu thập và tổng hợp dữ liệu từ nhiều nguồn đáng tin cậy nhằm xây dựng cơ sở dữ liệu nền ban đầu phục vụ cho việc thiết kế bản đồ số các mỏ cát tại tỉnh Đồng Tháp. Dữ liệu này được gọi là dữ liệu sơ cấp.

Dữ liệu sơ cấp được thu thập từ các báo cáo chuyên môn, văn bản quy hoạch, quyết định cấp phép khai thác khoáng sản và hệ thống cơ sở dữ liệu công khai do các cơ quan quản lý nhà nước cung cấp, ví dụ như Ủy ban nhân dân tỉnh Đồng Tháp, Sở Tài nguyên và Môi trường, Sở Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn tỉnh Đồng Tháp,... Các tài liệu này cung cấp thông tin cơ bản về vị trí địa lý, ranh giới hành chính, tình trạng pháp lý, trữ lượng ước tính (nếu có), thời gian khai thác, cùng các đặc điểm kỹ thuật liên quan đến từng mỏ cát. Song song đó, nhóm nghiên cứu cũng tiến hành thu thập các nguồn tài liệu học thuật như công trình nghiên cứu, bài báo khoa học và sách chuyên khảo liên quan đến ứng dụng hệ thống thông tin địa lý (GIS), viễn thám và bản đồ số trong lĩnh vực quản lý tài nguyên thiên nhiên. Những tài liệu này được sử dụng làm cơ sở lý luận và tham chiếu cho việc lựa chọn công cụ, mô hình hóa dữ liệu cũng như xây dựng cấu trúc bản đồ. Tiếp theo, tiến hành thu thập các tọa độ địa lý, ranh giới hành chính và nếu có, cả ranh giới khai thác cụ thể của từng mỏ cát.

Các thông tin này được ghi nhận và sau đó được chuẩn hóa và chuyển đổi về định dạng phù hợp để tích hợp trên nền tảng bản đồ số, hướng tới mục tiêu xây dựng một cơ sở dữ liệu mỏ cát có độ tin cậy cao, có khả năng mở rộng và dễ tích hợp, làm tiền đề cho việc trực quan hóa không gian và phục vụ công tác quản lý, giám sát tài nguyên khoáng sản trên địa bàn tỉnh Đồng Tháp theo hướng hiện đại, minh bạch và số hóa.

4.2 Hệ thống hóa thông tin

Sau quá trình thu thập, dữ liệu được tổ chức lại theo hướng hệ thống hóa nhằm đảm bảo khả năng truy xuất, cập nhật và tích hợp vào bản đồ số một cách hiệu quả, được gọi là dữ liệu thứ cấp.

Trước hết, nhóm nghiên cứu tiến hành phân loại và tổ chức thông tin thuộc tính tương ứng với từng đối tượng nghiên cứu (tức từng mỏ cát). Các trường thông tin cơ bản bao gồm: tên mỏ, tên đơn vị khai thác hoặc chủ đầu tư, tình trạng hoạt động (đang khai thác, tạm dừng, chấm dứt), thông tin giấy phép (số hiệu, ngày cấp, ngày hết hạn nếu có), trữ lượng khai thác ước tính, cũng như các thông tin hỗ trợ khác phục vụ mục đích quản lý, giám sát và minh bạch hóa dữ liệu.

Do nguồn dữ liệu đầu vào đến từ nhiều hệ thống khác nhau, với cấu trúc không đồng nhất và chất lượng thông tin biến động, quá trình xử lý và chuẩn hóa dữ liệu đóng vai trò then chốt. Nhóm nghiên cứu áp dụng các bước xử lý theo chu trình: (i) đánh giá tính đầy đủ và độ tin cậy của dữ liệu; (ii) loại bỏ các mục thông tin trùng lặp, thiếu chính xác hoặc không còn hiệu lực; (iii) thống nhất định dạng đầu ra (ví dụ: tọa độ theo hệ VN2000, định danh mỏ theo tên chuẩn, định dạng trữ lượng và công suất khai thác). Kết quả sau xử lý là một bộ cơ sở dữ liệu thuộc tính có cấu trúc rõ ràng, được trình bày dưới dạng bảng dữ liệu (attribute table) gồm các cột thông tin mô tả và trường tọa độ để hỗ trợ tích hợp vào bản đồ số.

Bảng 2. *Dữ liệu thứ cấp sau khi hệ thống hóa thông tin.*

STT	Tên mỏ cát	Đơn vị khai thác	Tình trạng	Trữ lượng khai thác còn lại (m^3)	Công suất khai thác được phép (m^3)
1	Mỏ cát trên sông Tiền thuộc xã Phú Thuận B, huyện Hồng Ngự, tỉnh Đồng Tháp	Công ty Cổ phần Xây lắp và VLXD Đồng Tháp	Gia hạn lần thứ 12	1.827.960	225.000 m^3/ 6 tháng
2	Mỏ cát san lấp trên lòng sông Hậu thuộc xã Định Yên, huyện Lấp Vò, tỉnh Đồng Tháp	Công ty Trách nhiệm hữu hạn Sản xuất và Xây dựng Thi Sơn	Gia hạn lần thứ 7	482.282	357.282 m^3 /năm
…					

Ghi chú: Bảng chỉ thể hiện các dòng tiêu biểu, không bao gồm toàn bộ dữ liệu.

Ngoài ra, dữ liệu về vị trí mỏ cát (điểm, tọa độ X, tọa độ Y) theo hệ tọa độ VN2000 cũng được ghi nhận lại để làm cơ sở xác định ranh giới của mỏ cát. Các tọa độ này sau đó sẽ được chuyển đổi sang hệ tọa độ WGS84 (World Geodetic System 1984) và tích hợp vào hệ thống bản đồ số để vẽ và hiển thị trực quan khu vực phân bố của từng mỏ, giúp người dùng dễ dàng nhận diện vị trí, quy mô và hình dạng ranh giới khai thác.

4.3 Xử lý và chuẩn hóa dữ liệu

Sau khi hệ thống hóa thông tin thuộc tính cho từng mỏ cát, dữ liệu tiếp tục được xử lý và chuẩn hóa nhằm đảm bảo tính nhất quán, độ tin cậy và khả năng tương thích với các công cụ bản đồ số, đặc biệt là nền tảng Google Maps. Đây là bước trung gian mang tính kỹ thuật, đóng vai trò then chốt trong việc chuyển đổi dữ liệu từ dạng văn bản hành chính hoặc bảng tính thông thường sang dạng dữ liệu không gian có cấu trúc, sẵn sàng tích hợp và hiển thị trên bản đồ trực tuyến.

Trước hết, nhóm nghiên cứu tiến hành chuyển đổi toàn bộ dữ liệu về định dạng chuẩn hóa, trong đó đặc biệt chú trọng đến các thông tin định vị không gian. Tất cả các mỏ cát đều được gán tọa độ địa lý chính xác (chuyển đổi từ hệ tọa độ VN2000 sang hệ tọa độ WGS84), thể hiện dưới dạng điểm (nếu chỉ có vị trí trung tâm) hoặc vùng đa giác (nếu có thông tin ranh giới cụ thể). Các trường thông tin thuộc tính cũng được mã hóa thống nhất về kiểu dữ liệu, định dạng ngày tháng, đơn vị đo lường, và tên gọi để đảm bảo khả năng phân tích và truy xuất.

Bảng 3. *Dữ liệu tọa độ vị trí mỏ cát chuyển đổi từ tọa độ VN2000 sang WGS84*

STT	Tên mỏ cát	Điểm	Tọa độ X (VN2000)	Tọa độ Y (VN2000)	WGS84-LAT	WGS84-LONG
1	Mỏ cát trên sông Tiền thuộc xã Phú Thuận B, huyện Hồng Ngự, tỉnh Đồng Tháp	13	1186995	538.646	10,73343	105,3551
		B	1186995	538.680	10,73342	105,3554
		C	1186296,947	538726,794	10,72711	105,3558
		P2'	1185895	538638	10,72348	105,3550
		P3	1184843	538298	10,71397	105,3519
		6	1184862	538239	10,71414	105,3513
		9	1185087,825	538138,697	10,71619	105,3504
		10	1185865,198	538408,715	10,72321	105,3529

STT	Tên mỏ cát	Điểm	Tọa độ X (VN2000)	Tọa độ Y (VN2000)	WGS84-LAT	WGS84-LONG
		11	1186396,068	538550,728	10,72801	105,3542
		12	1186881,048	538643,102	10,73239	105,3550
2	Mỏ cát san lấp trên lòng sông Hậu thuộc xã Định Yên, huyện Lấp Vò, tỉnh Đồng Tháp	1	1137748	560016	10,28789	105,5497
		2	1137930	560154	10,28953	105,5509
		3	1137423	560791	10,28494	105,5567
		4	1137310	560870	10,28392	105,5575
		5	1137165	560761	10,28261	105,5565
…						

Ghi chú: Bảng chỉ thể hiện các dòng tiêu biểu, không bao gồm toàn bộ dữ liệu.

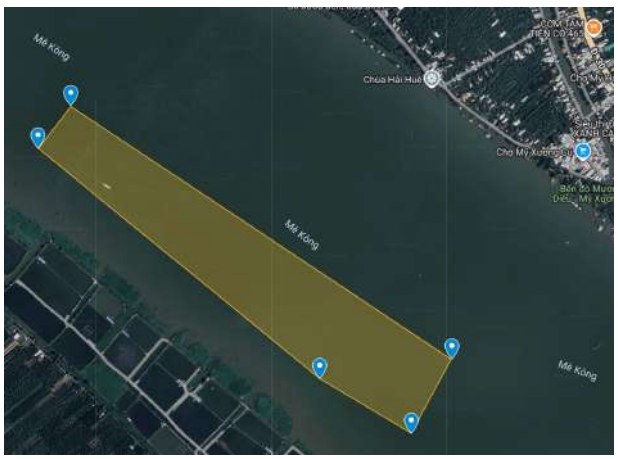
Tiếp theo là khâu kiểm tra, xác thực và làm sạch dữ liệu. Nhóm nghiên cứu rà soát toàn bộ dữ liệu nhằm phát hiện và loại bỏ các lỗi phổ biến như: thông tin bị thiếu, trùng lặp, không nhất quán giữa các nguồn, hoặc sai lệch về tọa độ. Các bản ghi chưa đầy đủ thông tin thiết yếu hoặc không xác minh được qua nhiều nguồn độc lập sẽ được loại khỏi bộ dữ liệu chính thức hoặc gắn cờ để kiểm chứng bổ sung.

Đồng thời, quá trình xử lý cũng bao gồm việc đồng bộ hóa dữ liệu giữa các lớp thông tin: lớp thuộc tính (mô tả mỏ cát) và lớp không gian (tọa độ địa lý). Sự đồng bộ này đảm bảo rằng mỗi đối tượng hiển thị trên bản đồ đều được liên kết với tập thông tin mô tả tương ứng, tạo điều kiện thuận lợi cho việc truy vấn, tương tác và phân tích trên nền tảng bản đồ số.

Kết quả của giai đoạn này là một tập hợp dữ liệu đã được xử lý, làm sạch và chuẩn hóa toàn diện, đáp ứng đầy đủ các yêu cầu kỹ thuật để tích hợp vào Google Maps hoặc các hệ thống bản đồ số tương tự.

4.4 Thiết kế và xây dựng bản đồ trên nền tảng Google Maps

Các lớp thông tin địa lý được xây dựng trên cơ sở phân loại dữ liệu theo đặc điểm không gian. Cụ thể, đối với các mỏ chỉ có vị trí điểm, nhóm sử dụng các đối tượng đánh dấu (marker) để hiển thị trên bản đồ. Ngược lại, các mỏ có ranh giới rõ ràng được thể hiện thông qua lớp hình học đa giác (polygon), giúp làm nổi bật phạm vi khai thác. Cả hai loại đối tượng đều được gán tọa độ địa lý theo hệ chuẩn WGS84 nhằm đảm bảo khả năng hiển thị chính xác.



Hình 3. Mô tả vị trí, ranh giới mỏ cát trên Google Maps

Một yếu tố quan trọng trong thiết kế là hiển thị trực quan nhằm hỗ trợ người dùng dễ dàng nhận diện và phân tích thông tin. Nhóm nghiên cứu lựa chọn biểu tượng, màu sắc và mức độ đậm

nhạt phù hợp để phản ánh tình trạng pháp lý hoặc mức độ hoạt động của từng mỏ. Ví dụ, các mỏ đang khai thác được hiển thị bằng biểu tượng màu xanh đậm, trong khi các mỏ đã ngưng hoạt động có thể được mã hóa bằng màu xám hoặc các màu khác biệt. Việc này giúp truyền đạt thông tin một cách trực quan mà không cần phải tương tác sâu với từng đối tượng.

Đồng thời, bản đồ được tích hợp các thành phần thông tin động - tức là khi người dùng tương tác (nhấp chuột hoặc rê chuột) vào một đối tượng trên bản đồ, một cửa sổ thông tin sẽ xuất hiện, hiển thị các thông tin chi tiết về mỏ đó. Các trường thông tin bao gồm: tên mỏ, tên đơn vị khai thác, tình trạng khai thác, thời hạn giấy phép, trữ lượng ước tính (nếu có), và các đặc điểm bổ sung được tổng hợp từ dữ liệu ban đầu.

Hình 4. Hiển thị thông tin mỏ cát trên bản đồ.

4.5 Đánh giá và kiểm thử

Sau khi hoàn thành xây dựng bản đồ số, bước đánh giá và kiểm thử là khâu thiết yếu nhằm đảm bảo chất lượng cũng như hiệu quả vận hành của sản phẩm. Quá trình này bắt đầu bằng việc xác minh độ chính xác và tính đầy đủ của dữ liệu được thể hiện trên bản đồ. Cụ thể, vị trí các mỏ cát được đối chiếu kỹ lưỡng với dữ liệu gốc từ các nguồn chính thức cũng như kết quả khảo sát thực địa nhằm đảm bảo độ tin cậy về mặt không gian. Đồng thời, các thông tin thuộc tính đi kèm cũng được rà soát chi tiết để phản ánh trung thực đặc điểm và trạng thái hiện tại của từng mỏ, tránh những sai sót hoặc thiếu sót ảnh hưởng đến giá trị sử dụng của bản đồ.

Tiếp theo, trải nghiệm người dùng là một yếu tố quan trọng được đánh giá thông qua thử nghiệm với nhóm đại diện gồm cán bộ quản lý và người dùng cuối. Các tiêu chí về tính trực quan, sự thân thiện và dễ dàng thao tác được tập trung kiểm tra, đặc biệt là các chức năng tìm kiếm, lọc dữ liệu và hiển thị chi tiết thông tin. Qua đó, những tính năng này được đánh giá về khả năng đáp ứng nhu cầu thực tiễn trong công tác quản lý và giám sát. Phản hồi thu thập từ người dùng và các chuyên gia liên quan được tổng hợp để nhận diện những điểm cần cải tiến và hoàn thiện

Để đảm bảo tính ổn định và tương thích rộng rãi, bản đồ số còn được thử nghiệm trên nhiều nền tảng thiết bị khác nhau, bao gồm máy tính để bàn, laptop, các thiết bị di động cũng như trên nhiều trình duyệt web phổ biến hiện nay như Chrome, Firefox hay Edge. Qua quá trình vận hành thử, mọi lỗi phát sinh hoặc sự cố đều được ghi nhận và xử lý kịp thời nhằm tối ưu hóa hiệu suất và nâng cao trải nghiệm người dùng.

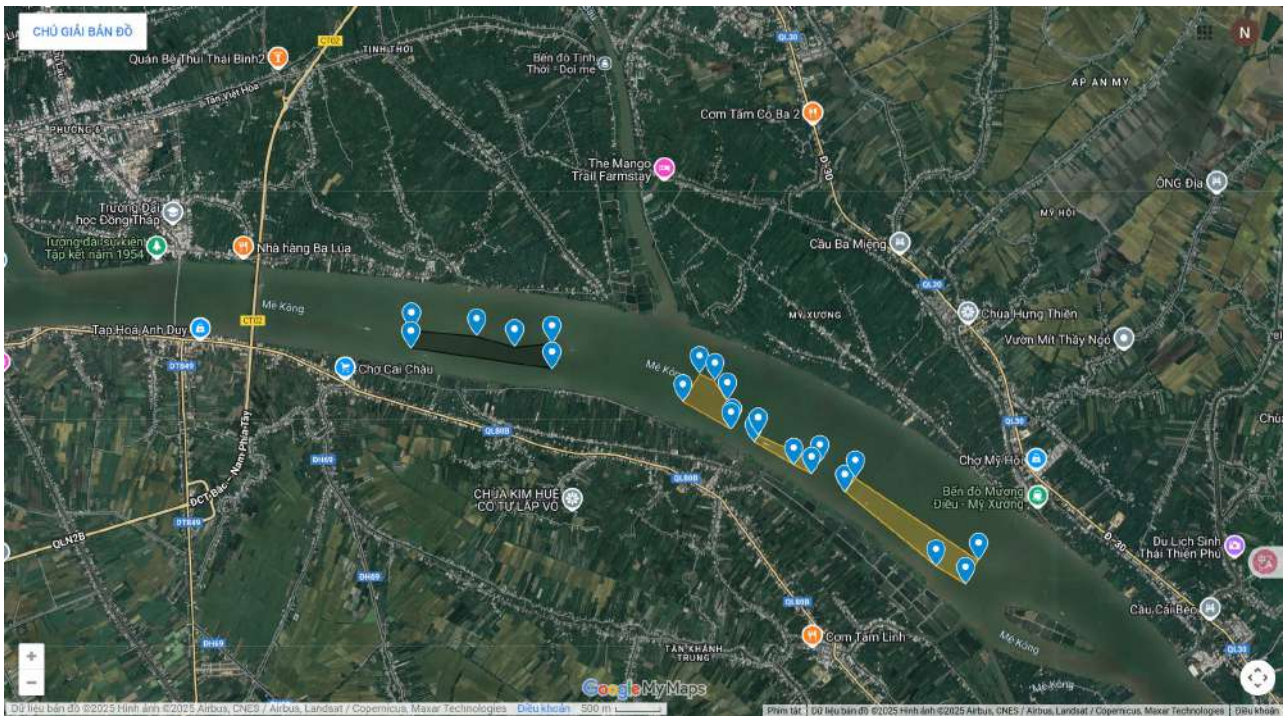
5. Kết quả nghiên cứu

Trong khuôn khổ nghiên cứu, nhóm đã hoàn thiện một hệ thống bản đồ số tương tác phục vụ quản lý mỏ cát tại tỉnh Đồng Tháp. Trước tiên, nhóm đã xây dựng cơ sở dữ liệu chất lượng cao thông qua việc thu thập thông tin từ các cơ quan chức năng như Sở Tài nguyên và Môi trường, Sở Nông nghiệp và các báo cáo quy hoạch khoáng sản giai đoạn 2020-2024. Các trường dữ liệu như tọa độ, trạng thái hoạt động, diện tích, giấy phép, trữ lượng,... của gần 30 mỏ cát, được làm sạch, chuẩn hóa và chuyển đổi sang hệ tọa độ WGS84 để tương thích với Google Maps.

Dựa trên cơ sở dữ liệu này, nhóm đã thiết kế bản đồ số tương tác với giao diện trực quan, hỗ trợ tra cứu vị trí và trạng thái các mỏ cát bằng biểu tượng hoặc vùng màu theo phân loại hoạt động (đang khai thác, tạm dừng, đã đóng). Giao diện bản đồ cho phép người dùng dễ dàng tìm kiếm, lọc dữ liệu và điều hướng, kể cả trên các thiết bị di động.

Hình 5. Mã QR truy cập vào bản đồ mỏ cát tỉnh Đồng Tháp.

Bản đồ đã được kiểm thử thành công trên nhiều nền tảng và trình duyệt phổ biến, đảm bảo khả năng vận hành ổn định, tải nhanh và dễ sử dụng. Phản hồi từ các nhóm thử nghiệm, gồm sinh viên, giảng viên, người dân có nhu cầu và cán bộ quản lý, đều cho thấy sự hài lòng rất cao về tính chính xác, giao diện thân thiện và tiềm năng ứng dụng thực tiễn của bản đồ trong công tác quản lý tài nguyên khoáng sản tại địa phương.



Hình 6. Giao diện bản đồ mỏ cát tỉnh Đồng Tháp.

6. Kết luận

Nghiên cứu đã xây dựng thành công một hệ thống bản đồ số tương tác nhằm hỗ trợ công tác quản lý các mỏ cát trên địa bàn tỉnh Đồng Tháp. Hệ thống được phát triển trên nền tảng Google Maps, sử dụng dữ liệu thu thập từ các cơ quan quản lý nhà nước và quy hoạch khoáng sản. Dữ liệu bao gồm thông tin tọa độ, chủ đầu tư, tình trạng hoạt động, diện tích, giấy phép và trữ lượng ước tính của gần 30 mỏ cát trên địa bàn tỉnh, được xử lý và chuẩn hóa theo hệ tọa độ WGS84 để đảm bảo tính nhất quán và tương thích. Bản đồ số được thiết kế thân thiện với người dùng, tích hợp chức năng tìm kiếm, lọc và hiển thị chi tiết thông tin từng mỏ, thời gian truy cập tra cứu dữ liệu được tối ưu hóa. Quá trình kiểm thử trên nhiều trình duyệt và thiết bị cho thấy bản đồ đạt độ chính xác cao về vị trí và được đánh giá tích cực về hiệu năng cũng như khả năng ứng dụng thực tiễn của nhóm kiểm thử (gồm cán bộ quản lý, người dân có nhu cầu tra cứu và sinh viên nghiên cứu học tập). Việc sử dụng Google Maps giúp giảm chi phí phát triển phần mềm riêng, tận dụng được hạ tầng và công cụ sẵn có, đồng thời thúc đẩy quá trình chuyển đổi số trong quản lý tài nguyên.

Tuy nhiên, hệ thống còn một số hạn chế. Nguồn dữ liệu hiện tại chủ yếu từ báo cáo chính thức nên chưa phản ánh đầy đủ các mỏ chưa cấp phép hoặc khai thác trái phép. Ngoài ra, khả năng phân tích không gian nâng cao của Google Maps còn hạn chế so với phần mềm GIS chuyên sâu. Hệ thống cũng chưa tích hợp dữ liệu liên quan đến môi trường, xã hội hay tác động khai thác.

Từ đó, nhóm nghiên cứu đề xuất các hướng cải tiến như tăng cường cập nhật dữ liệu thực địa, kết hợp công nghệ viễn thám, tích hợp công cụ GIS chuyên sâu, mở rộng dữ liệu liên ngành và đảm bảo an toàn thông tin. Những giải pháp này nhằm nâng cao hiệu quả, độ tin cậy và khả năng mở rộng của hệ thống trong quản lý tài nguyên khoáng sản theo hướng hiện đại, minh bạch và bền vững.

So với GIS chuyên dụng (ArcGIS, QGIS), Google Maps vượt trội nhờ chi phí thấp, giao diện thân thiện, và dễ tiếp cận mà không cần chuyên môn GIS, phù hợp với điều kiện hạn chế của Đồng Tháp, thúc đẩy chuyển đổi số hiệu quả. Tuy nhiên, Google Maps hạn chế trong phân tích không gian phức tạp (như mô hình 3D, viễn thám) và độ phân giải ảnh nền thấp, khó phát hiện khai thác nhỏ lẻ. GIS chuyên dụng mạnh hơn về phân tích nhưng chi phí cao và triển khai khó. Google Maps là lựa chọn tối ưu cho quản lý mỏ cát địa phương, với tiềm năng kết hợp GIS trong tương lai.

Tài liệu tham khảo

Ali, P., Gan, G., & Asmawi, A. (2025). Strategies for achieving sustainable management of offshore sand mining in Malaysia. *Sustainability, 17*(4), 1679. https://doi.org/10.3390/ su17041679

Bayazidy, M., Maleki, M., Khosravi, A., Shadjou, A., Wang, J., Rustum, R., & Morovati, R. (2024). Assessing riverbank change caused by sand mining and waste disposal using web-based volunteered geographic information. *Water, 16*(5), 734. https://doi.org/10.3390/w16050734

Da Silva, L., Nascimento, D., & Fabrício, L. (2022). Possibilidades de construção de conhecimento geográfico a partir do uso da plataforma de mapeamento colaborativo Google My Maps. *Revista Brasileira de Educação em Geografia, 12*(22). https://doi.org/ 10.46789/edugeo.v12i22.1006

Đức, D. N., Duy, T. N., & Khắc, C. T. (2021). Nghiên cứu các đặc trưng cơ học của bê tông sử dụng cát mịn phối trộn cát nghiền trong xây dựng cầu. *The Transport and Communications Science Journal, 72*(6), 687-701. https://doi.org/10.47869/tcsj.72.6.2

Hoành, T. P., & Hùng, P. T. (2016). Mối quan hệ giữa khai thác cát với biến động bờ sông Tiền tại tỉnh Đồng Tháp. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học An Giang, 12*(4), 92-103. http://ir.vnulib.edu.vn/handle/VNUHCM/30230

Kumar, S., Park, E., Tran, D., Wang, J., Ho, H., Feng, L., Kantoush, S., Van Binh, D., Li, D., & Switzer, A. (2023). A deep learning framework to map riverbed sand mining budgets in large tropical deltas. *GIScience & Remote Sensing, 61*(1). https://doi.org/10.1080/ 15481603.2023.2285178

Matovu, B., Brouwer, F., Bleischwitz, R., Aljanabi, F., & Alkoyak-Yildiz, M. (2024). Resource nexus perspectives in the blue economy of India: The case of sand mining in Kerala. *Environmental Science*

& Policy, 153, 103617. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.103617

Miao, X., Stohr, C., Hanson, P., & Wang, Q. (2020). Remote sensing and three-dimensional photogrammetric analysis of glaciofluvial sand and gravel deposits for aggregate resource assessment in McHenry County, Illinois, USA. *Engineering Geology, 275*, 105695. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105695

Nguyễn, T. T., Phan, V. T., Nguyễn, V. Q., & Hoàng, T. P. N. (2022). Sử dụng ảnh vệ tinh Sentinel 2 và thuật toán học máy thành lập bản đồ hiện trạng rừng tại huyện Bù Đăng, tỉnh Bình Phước. *Can Tho University Journal of Science, 58*(6), 150-163. https://doi.org/10.22144/ ctu.jvn.2022.254

Nursamsi, I., Phinn, S., Levin, N., Luskin, M., & Sonter, L. (2024). Remote sensing of artisanal and small-scale mining: A review of scalable mapping approaches. *Science of the Total Environment, 920*, 175761. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175761

Nurhasan, U., & Saputra, P. (2018). Analysis of sand mining areas in Lumajang using WEBGIS. *Proceedings of the 2018 International Conference on Economics, Management, and Law (ICEML-18)*, 350-355. https://doi.org/10.2991/ICEML-18.2018.77

Building a sand mine map in dong thap province using the google maps platform

Tran Phuong Duy[1]*, Nguyen Ngoc Hien[1], Tran Quoc Kiet[1], Nguyen Ngoc Quy[1], Le Van Phuc[1], and Vo Phu Toan[1]

[1]*Dongthap University, Vietnam*

**Corresponding author: Email: tranphuongduygff@gmail.com*

Abstract

This paper presents a solution for developing a digital mapping system of sand mine information in Dong Thap Province by leveraging the Google Maps platform, with the aim of modernizing mineral resource management in the context of digital transformation. The research involved the systematic collection, standardization, and digitization of reliable data from official governmental sources, followed by integration into a digital map equipped with search and retrieval functions that provide detailed information on the geographic location, estimated reserves, and operational status of each sand mine. The results demonstrate that the proposed system enhances transparency, monitoring efficiency, and resource governance, while simultaneously enabling flexible data updating and sharing. Compared to conventional approaches, it significantly reduces costs and resource requirements. By the second quarter of 2025, the system had incorporated data for nearly thirty sand mines, thereby shortening information retrieval time and achieving a very high level of user satisfaction among the testing group. This solution establishes a practical foundation for the comprehensive digitalization of the local mining sector and highlights its potential for broader application in other areas of natural resource management.

Keywords: Digital transformation, Digitization, Dong Thap Province, Google Maps, Resource management, Sand mines.

ĐÁNH GIÁ ĐIỀU KIỆN ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH TỈNH CÀ MAU CŨ PHỤC VỤ THIẾT KẾ LẮP ĐẶT THÍ ĐIỂM HỆ THỐNG QUAN TRẮC SỤT LÚN ĐẤT

Dương Mạnh Hùng[1,*]

[1] *Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản*

**Tác giả liên hệ: Email: duongmanhhung99@yahoo.com.vn*

Tóm tắt

Bài báo trình bày điều kiện địa chất công trình của tỉnh Cà Mau cũ phục vụ thiết kế hệ thống quan trắc lún, bao gồm địa hình, địa chất, địa tầng và tính chất cơ lý, địa chất thủy văn và các hiện tượng địa chất động lực công trình. Hiện tượng sụt lún tại khu vực được xác định là kết quả của tương tác giữa các yếu tố địa chất công trình và tác động bên ngoài. Trên cơ sở phân tích đặc điểm đất nền, mặt cắt địa kỹ thuật, số liệu khai thác và hạ thấp mực nước ngầm, đã lựa chọn ba vị trí lắp đặt mốc quan trắc (CM1, CM2, CM3). Cấu trúc nền với lớp đất yếu bề dày lớn được xem xét để xác định chiều sâu và vị trí lớp nền ổn định làm mốc chuẩn, đồng thời đề xuất các thiết bị phù hợp cho hệ thống quan trắc lún.

Từ khóa: Điều kiện địa chất công trình, lún, quan trắc lún, Cà Mau.

1. Đặt vấn đề

Trong những năm gần đây, khu vực Đồng bằng sông Cửu Long, đặc biệt là tỉnh Cà Mau cũ, ghi nhận hiện tượng lún mặt đất trên diện rộng, gây ảnh hưởng đến đời sống và kinh tế địa phương. Nguyên nhân chính của hiện tượng này xuất phát từ đặc điểm địa chất gồm các lớp đất yếu có nguồn gốc trầm tích sông xen kẹp trầm tích biển trẻ tuổi, cùng với các tác động bên ngoài như tải trọng công trình, khai thác nước ngầm và rung động. Lún nền đất yếu thường xảy ra phổ biến, gây nứt vỡ công trình, xâm nhập mặn và bất ổn xã hội.

Để có cơ sở khoa học thiết kế lắp đặt thí điểm hệ thống quan trắc sụt lún đất tại tỉnh Cà Mau cũ, việc nắm được các thông tin về điều kiện địa chất công trình là cần thiết, góp phần từng bước dự báo lún mặt đất sát thực tế tại đây nhằm ổn định sản xuất và đời sống của nhân dân địa phương thích ứng với biến đổi khí hậu và nước biển dâng cao.

Hình 1. Tỉnh Cà Mau cũ
(Cổng thông tin điện tử tỉnh Cà Mau cũ, 2024)

2. Điều kiện địa chất công trình tỉnh Cà Mau cũ

Tỉnh Cà Mau cũ, nằm ở cực Nam Việt Nam, thuộc Đồng bằng Sông Cửu Long (ĐBSCL), được tái lập ngày 01/01/1997. Diện tích phần đất liền là 5.294,87 km² (chiếm 12,97% vùng ĐBSCL), trong đó có đất nuôi trồng thủy sản, trồng lúa và lâm nghiệp. Tỉnh nằm từ 8°34’ đến 9°33’ vĩ Bắc, giáp biển ba mặt và cách TP. Hồ Chí Minh 370 km. Với vị trí bán đảo, khí hậu Cà Mau thuộc vùng cận xích đạo, nhiệt đới gió mùa, có hai mùa mưa - nắng rõ rệt.

2.1 Địa hình:

Tỉnh Cà Mau cũ là vùng đồng bằng thấp, nhiều sông rạch, thường xuyên ngập nước, địa hình nghiêng từ bắc xuống nam. Độ cao trung bình 0,5-1,5m so với mực nước biển. Có các vùng trũng lớn và trũng treo như U Minh, Trần Văn Thời, thường xuyên đọng nước, hình thành đầm lầy. Đất đai trẻ, giàu phù sa, thích hợp nuôi trồng thủy sản, trồng lúa và rừng ngập mặn. Bờ biển phía đông bị xói lở mạnh, trong khi Bãi Bồi Mũi Cà Mau được bồi đắp hàng năm từ 50-80m.

2.2 Đặc điểm địa chất

Vùng nghiên cứu thuộc khối Cà Mau, giáp ranh các khối địa chất khác qua các đứt gãy lớn. Địa tầng phân chia theo các hệ Neogen và Đệ tứ với đặc điểm cụ thể như sau:

Hệ Neogen

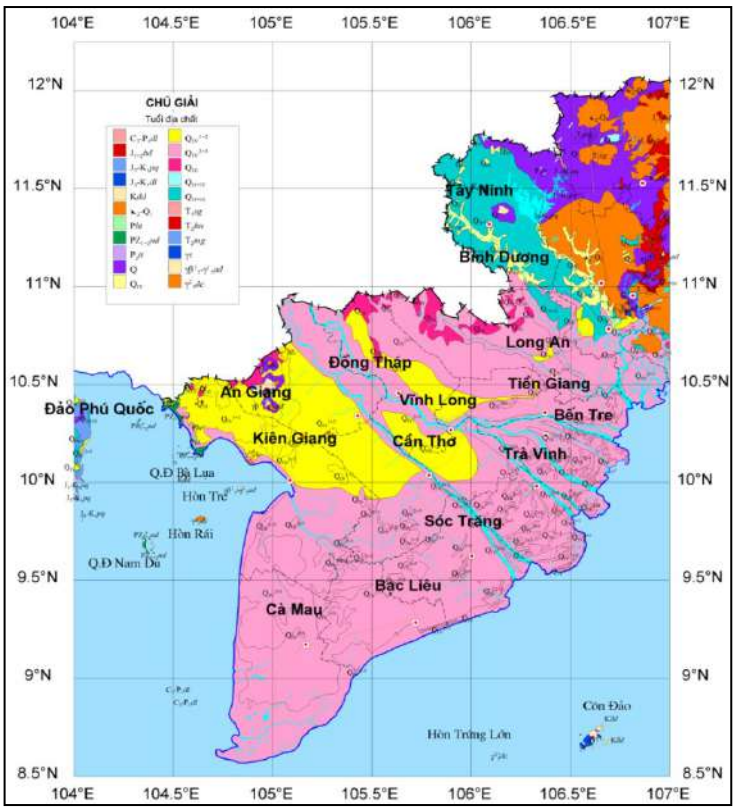
Thống Miocen Phụ thống thượng, hệ tầng Phụng Hiệp (N^1_3ph)

Gặp ở độ sâu >380m, chủ yếu là bột kết và cát bột kết, dày khoảng 320-380m, nghiêng về phía sông Cổ Chiên.

Thống Pliocen phụ thống hạ, hệ tầng Cần Thơ (N^1_2ct)

+ Trầm tích sông - biển (am N^1_2ct): Phân bố sâu 247-269m, chủ yếu là cát thô, chứa sạn sỏi, dày 34,5-71m.

+ *Trầm tích biển (mN^1_2ct):* Gặp ở độ sâu 237-255m, chủ yếu là đất hạt mịn (sét, bột), có tính ngăn nước, dày 7-21m.



Hình 2. Bản đồ địa chất khu vực đồng bằng sông Cửu Long - tỉnh Cà Mau cũ (Đỗ Văn Lĩnh, 2010)

Thống Pliocen phụ thống thượng, hệ tầng Năm Căn (N^2_2nc)

+ *Trầm tích sông - biển (amN^2_2nc):* phân bố ở độ sâu 166-217,5m, gồm 2-3 nhịp trầm tích, dưới là cát, trên là bột sét, dày 37,5-78,5m.

+ *Trầm tích biển (mN^2_2nc):* Lớp hạt mịn dày 1-30m, phủ bất chỉnh hợp trên các trầm tích của hệ tầng Cần Thơ (N^1_2ct).

Hệ Đệ tứ

Thống Pleistocen

Phụ thống hạ, hệ tầng Cà Mau (Q_I^1cm)

+ *Trầm tích sông - biển (amQ_I^1cm):* Cát mịn đến thô, chứa thực vật và sạn, phân bố rộng, dày 19-77m.

+ *Trầm tích biển (mQ_I^1cm):* Lớp sét bột mịn phủ trên, dày 30-35m.

Phụ thống trung - thượng, hệ tầng Long Toàn (am $Q_I^{2-3}lt$)

Các trầm tích của hệ tầng không lộ ra trên mặt, chỉ bắt gặp ở dưới sâu trong hầu hết các lỗ khoan phân bố ở độ sâu 42,0 đến 69,5m trở xuống, trung bình 53,8m. Bao gồm:

- *Trầm tích sông - biển ($amQ_I^{2-3}lt$):* Xen kẹp cát và bột, chủ yếu là cát mịn đến thô, dày 4-31m.

- *Trầm tích biển ($mQ_I^{2-3}lt$):* Lớp sét mịn chứa laterit, dày 40-60m.

Phụ thống thượng, hệ tầng Long Mỹ (Q_I^3lm)

Các trầm tích của hệ tầng không lộ ra trên mặt, chỉ bắt gặp trong các lỗ khoan ở độ sâu từ 12,0m đến 45,0m trở xuống, trung bình 26,0m. Bao gồm:

- *Trầm tích sông - biển (amQ_I^3lm):* Cát mịn đến trung, không phân bố liên tục, dày 5-20m.

- *Trầm tích biển (mQ_I^3lm):* Sét bột, có vết laterit và vỏ sinh vật, dày 30-40m.

Thống Holocen (Q_2)

Trầm tích Holocen trong vùng bao gồm các loại trầm tích có nguồn gốc và tuổi khác nhau:

Phụ thống hạ - trung

Chúng phân bố ở độ sâu từ 1 - 6m trở xuống với thành phần chủ yếu là bùn sét, sét, bột cát, cát bột, bột, bột sét màu xám xanh, xám đen chứa mùn thực vật.

+ Trầm tích sông - biển (amQ_2^{1-2}): Cát mịn, sét, phân bố không đều, sâu 1-10m.

+ Trầm tích biển (mQ_2^{1-2}):

Chúng phân bố trên toàn vùng nghiên cứu ở độ sâu từ 1 đến 6m trở xuống với thành phần chủ yếu là bùn sét, sét, bột cát, bột, bột sét màu xám xanh, xám đen chứa mùn thực vật.

Phụ thống trung - thượng

- Trầm tích sông - biển (amQ_2^{2-3}): Sét, cát mịn, dẻo, dùng làm nguyên liệu gạch ngói, dày 1-6m.

Phụ thống thượng

- Trầm tích sông - biển - đầm lầy ($ambQ_2^3$): Sét, bột, chứa thực vật phân hủy, dày 1-1,5m.

- Trầm tích sông (aQ_2^3): Bột sét dọc sông rạch, chứa mùn, dày 1-1,5m.

Chiều dày của các trầm tích Holocen biến đổi từ 12,0m đến 45,0m, chiều dày trung bình khoảng 26,0m.

2.3 Đặc điểm địa tầng và tính chất cơ lý

Theo kết quả thu thập nhiều lỗ khoan địa kỹ thuật trong khu vực nghiên cứu, địa tầng được phân chia từ trên mặt đến độ sâu 415m thành 20 lớp đất với các tính chất cơ lý cụ thể như sau:

1) Lớp 1: Đất lấp, đất thổ nhưỡng

Thành phần chủ yếu là sét bột, bột sét màu xám nâu, xám đen lẫn dễ cây, mùn thựu vật. Chiều dày từ 0,5 đến 1,5m; trung bình 1,2m.

2) Lớp 2: Bùn sét màu xám nâu, xám xanh, xám tro, xám đen

Độ sâu kết thúc của đáy lớp biến đổi tử 3,0m đến 41,0m. Bề dày từ 3 đến 41m, trung bình 20,3m. N_{SPT} = 0 - 6, I_p = 10,14 - 34,21, I_s = 0,23 - 1,38, φ (độ) = $00^0$34' - $06^0$44', C (kG/cm^2) = 0,050 - 0,098, C_c = 0,46 - 0,92, C_r = 0,15 - 0,29, P_c (kG/cm^2) = 0,35 - 0,68.

3) Lớp 3: Sét pha màu xám nâu; trạng thái dẻo mềm đến dẻo cứng

Độ sâu bắt gặp lớp thay đổi từ 5,0m đến 32,8m. Độ sâu kết thúc lớp thay đổi từ 14,0m đến 44,5m. Bề dày từ 2,4 đến 29,0m, trung bình 11,3m. N_{SPT} = 4 - 10, I_p = 10,14 - 34,21, I_s = 0,23 - 1,38, φ (độ) = $00^0$41' - $14^0$35', C (kG/cm^2) = 0,055 - 0,444, C_c = 1,03, C_r = 0,31, P_c (kG/cm^2) = 0,39.

4) Lớp 3a: Cát bột đến mịn màu xám nâu, xám tro, xám xanh; trạng thái bở rời

Độ sâu gặp lớp biến đổi từ 0,0 đến 38,0m. Độ sâu kết thúc lớp thay đổi từ 26,0 đến 53,0m. Bề dày lớp thay đổi từ 2,0 đến 52,0m, trung bình là 17,2m.

5) Lớp 4: Sét, bột sét màu xám vàng, xám trắng; trạng thái dẻo cứng

Độ sâu gặp lớp thay đổi từ 14,6m đến 53,0m. Độ sâu kết thúc lớp biến đổi từ 19,5 đến 125,0m. Bề dày từ 1,8 đến 82,0m, trung bình 17,0m. N_{SPT} = 8 - 30, I_p = 6,15 - 31,54, I_s = 0,01 - 0,49, φ (độ) = $13^0$45' - $25^0$04', C (kG/cm^2) = 0,089 - 0,663.

6) Lớp 5: Cát hạt mịn đến trung màu nâu nhạt, xám nâu; trạng thái chặt vừa

Độ sâu gặp lớp thay đổi từ 19,5 đến 125,0m. Độ sâu kết thúc lớp biến đổi từ 36,0m đến 183,0m. Bề dày từ 3,0 đến 58,0m, trung bình 18,0m. N_{SPT} = 11 - 30.

7) Lớp 6: Sét, bột sét loang lổ xám xanh, xám trắng, nâu đỏ, xám vàng; trạng thái dẻo cứng - nửa cứng

Độ sâu gặp lớp biến đổi từ 34,0m đến 183,0m. Độ sâu kết thúc lớp thay đổi từ 60,0 đến 220,0m. Bề dày từ 2,0 đến 80,0m, trung bình 26,2m

8) Lớp 7: Cát hạt mịn - trung màu xám ghi, xám trắng; trạng thái chặt vừa

Độ sâu gặp lớp biến đổi từ 60,0 đến 220,0m. Độ sâu kết thúc lớp biến đổi từ 76,0 đến 260,0m. Bề dày từ 3,0 đến 60,5m, trung bình 24,8m.

9) Lớp 8: Sét, sét bột màu xám xanh, xám vàng; trạng thái nửa cứng - cứng

Độ sâu gặp lớp biến đổi từ 80,5 đến 156,0m. Độ sâu kết thúc lớp biến đổi từ 85,0 đến 196,0m. Bề dày từ 3,0 đến 71,0m, trung bình 19,3m.

10) Lớp 9: Cát hạt mịn màu xám xanh, xám trắng; trạng thái chặt vừa - chặt

Độ sâu gặp lớp biến đổi từ 85,0 đến 183,0m. Độ sâu kết thúc lớp biến đổi từ 110,0 đến 200,0m. Bề dày từ 2,0 đến 73,0m, trung bình 21,0m.

11) Lớp 10: Sét, bột sét màu xám trắng, xám vàng; trạng thái nửa cứng - cứng

Độ sâu gặp lớp biến đổi từ 100,0 đến 187,0m. Độ sâu kết thúc lớp biến đổi từ 116,0 đến 201,0m. Bề dày từ 2,0 đến 31,5m, trung bình 13,4m.

12) Lớp 11: Cát hạt mịn - trung màu xám xanh, xám tro; trạng thái chặt

Độ sâu gặp lớp thay đổi từ 116,0m đến 184,0m. Độ sâu kết thúc lớp biến đổi từ 121,0m đến 210,0m. Chiều dày lớp thay đổi từ 2,0 đến 36,0m, trung bình 14,3m.

13) Lớp 12: Sét, sét bột, bột sét màu xám tro; trạng thái nửa cứng đến cứng

Độ sâu gặp lớp biến đổi từ 121,0m đến 210,0m. Độ sâu kết thúc lớp biến đổi từ 166,0m đến 231,0m. Bề dày lớp biến đổi từ 4,0m đến 73,0m, trung bình khoảng 25,0m.

14) Lớp 13: Cát hạt mịn - trung màu xám, xám đen; trạng thái chặt vừa - chặt

Độ sâu gặp lớp biến đổi từ 150,0m đến 231,0m. Độ sâu kết thúc lớp biến đổi từ 180,0m đến 270,0m. Bề dày lớp biến đổi từ 6,0m đến 75,0m, trung bình khoảng 42,0m.

15) Lớp 14: Sét, bột sét loang lổ vàng, xám trắng, nâu đỏ; trạng thái nửa cứng - cứng

Độ sâu gặp lớp biến đổi từ 180,0m đến 270,0m. Độ sâu kết thúc lớp biến đổi từ 210,0m đến 302,0m. Bề dày lớp biến đổi từ 3,0m đến 46,0m, trung bình 15,4m.

16) Lớp 15: Cát hạt trung đến thô màu xám trắng, xám vàng; trạng thái chặt

Độ sâu gặp lớp biến đổi từ 210,0m đến 302,0m. Độ sâu kết thúc lớp biến đổi từ 245,0m đến 306,0m. Bề dày lớp biến đổi từ 2,0m đến 51,0m, trung bình 18,0m.

17) Lớp 16: Sét, bột sét màu xám trắng, xám xanh, nâu đỏ; trạng thái cứng

Độ sâu gặp lớp biến đổi từ 231,0m đến 306,0m. Độ sâu kết thúc lớp biến đổi từ 270,0m đến 328,0m. Bề dày lớp biến đổi từ 30,0m đến 40,0m.

18) Lớp 17: Cát hạt mịn - trung, lẫn ít cát hạt thô; trạng thái chặt

Độ sâu gặp lớp biến đổi từ 270,0m đến 318,0m. Bề dày lớp từ 54m.

19) Sét bột, bột sét màu xám xanh, xám trắng loang lổ; trạng thái cứng

Độ sâu gặp lớp biến đổi từ 372,0m đến 389,0m.

20) Đá granit, granodiorit phong hóa mạnh hạt nhỏ và trung

Gặp ở độ sâu 389m.

Trong đó: N_{SPT} - giá trị xuyên tiêu chuẩn, I_p - chỉ số dẻo, I_s - độ sệt, φ - góc nội ma sát, C - lực dính kết, C_c - chỉ số nén, C_r - chỉ số nén hồi phục, P_c - áp lực tiền cố kết.

2.4 Đặc điểm địa chất thủy văn

Dựa vào cấu trúc địa chất, thành phần thạch học, đặc điểm thủy lực, các nguồn hình thành trữ lượng và chất lượng nước dưới đất, mức độ nghiên cứu địa chất thủy văn, trong phạm vi tỉnh Cà Mau cũ có các phân vị địa tầng địa chất thủy văn sau đây:

- Tầng chứa nước lỗ hổng các trầm tích Holocen (Q_2)

Phân bố rộng, đáy sâu 14-44 m, thành phần bùn sét - bột sét - cát mịn, chất lượng kém, mực nước nông (0,56-2,31 m), chịu ảnh hưởng mùa và thủy triều.

Nguồn cung cấp cho nước dưới đất trong trầm tích Holocen chủ yếu là nước mưa, nước mặt ngấm trực tiếp và thoát về phía Nam đổ ra các sông rạch. Hiện nay mực nước đang có xu hướng tụt xuống do ảnh hưởng khai thác nước của các tầng dưới.

- Tầng chứa nước lỗ hổng các trầm tích Pleistocen giữa - trên (qp_{2-3})

Phân bố rộng, đáy sâu 60-146 m, dày trung bình ~13,7 m, thành phần cát mịn - trung lẫn sạn sỏi, khả năng chứa nước trung bình.

Mực nước của tầng dao động theo mùa. Theo kết quả quan trắc Quốc gia động thái nước dưới đất trạm Q177020 và trạm Q188020, cho thấy trong những năm gần đây mực nước có dấu hiệu tụt xuống khá sâu, do mức độ khai thác nước của tầng gia tăng rất mạnh.

- Tầng chứa nước lỗ hổng các trầm tích Pleistocen dưới (qp_1)

Đáy sâu 84-200 m, dày trung bình ~23 m, khả năng chứa nước trung bình-giàu; khu vực phía bắc và đông giàu nước, phía tây-tây nam trung bình.

Mực nước của tầng chứa nước dao động theo mùa. Kết quả quan trắc mực nước tại giếng Q188030 trong những năm gần đây cho thấy, mực nước có dấu hiệu tụt xuống khá sâu (khoảng 14.7m), nguyên nhân do mức độ khai thác nước của tầng này đã tăng lên nhiều so với trước đây.

- Tầng chứa nước lỗ hổng các trầm tích Pliocen trên (n_2^2)

Đáy sâu 166-254,5 m, dày trung bình ~61,5 m, giàu nước (Q đến 33,89 l/s), đang được khai thác mạnh, mực nước giảm ~ 0,9 m/năm.

Hiện tại tầng chứa nước này đang bị khai thác rất mạnh nên mực nước tĩnh đã giảm sâu.

- Tầng chứa nước lỗ hổng các trầm tích Pliocen dưới (n_2^1)

Đáy sâu 247-344 m, dày trung bình ~21 m, khả năng chứa nước trung bình - giàu, chất lượng tốt (ngoại trừ khu vực tây bắc - đông bắc bị lợ).

Theo số liệu quan trắc tại giếng Q17704Z cho thấy mực nước dao động theo mùa. Kết quả quan trắc mực nước tại giếng Q17704Z trong những năm gần đây cho thấy mực nước giảm tổng cộng là 16,8m, tốc độ trung bình khoảng 0,8m/năm (Trần Văn Tý, Huỳnh Văn Hiệp, 2017).

2.5. Các hiện tượng địa chất động lực công trình

Các đặc điểm địa chất thủy văn và địa chất công trình cho thấy khu vực nghiên cứu tiềm ẩn nguy cơ cao xảy ra các hiện tượng động lực công trình như xói ngầm, cát chảy và sụt lún.

Xói ngầm: Là quá trình rửa trôi các hạt nhỏ trong đất đá dưới tác động của dòng thấm, gây biến dạng mặt đất, hình thành trũng, phễu lún và làm hư hại công trình. Hiện tượng này phát sinh khi đồng thời tồn tại ba yếu tố: (i) đất đá không đồng nhất, có khả năng di chuyển hạt nhỏ; (ii) tồn

tại gradient dòng nước đủ lớn để tạo áp lực thủy động dịch chuyển hạt; và (iii) có đường thoát cho các hạt bị rửa trôi.

Cát chảy: Xảy ra khi cát mịn, chứa bụi và nước mất ổn định, dẫn đến hiện tượng chảy hoặc đùn lên trong quá trình đào, khai thác. Cát chảy là dạng đất yếu, độ chặt thấp, có sức chống cắt nhỏ do liên kết hạt bị giảm, chịu ảnh hưởng của trọng lực và áp lực nước.

Sụt lún, sạt lở: Theo nghiên cứu của Karlsrud và cộng sự (Viện Địa kỹ thuật Na Uy) dựa trên dữ liệu DWPRIS và Công ty Fugro Việt Nam, mực nước ngầm tại Cà Mau đã giảm 10 - 19m trong 15 năm, gây lún nền đất 30-80 cm; sau 50 năm có thể đạt 120 - 210cm, tương ứng tốc độ lún 3 - 7cm/năm. Tại khu vực đô thị tỉnh Cà Mau cũ, đã ghi nhận 15 điểm sụt lún, sạt lở với tổng chiều dài 754m, trong đó 11 điểm đường bê tông (363m) và 4 điểm đường đất (391m) (Nguyễn Quốc Khánh và nnk, 2017; Tống Đức Liêm và nnk, 2004).

3. Vai trò của điều kiện địa chất công trình với việc thiết kế quan trắc lún

3.1 Nguyên nhân sụt lún nền đất

Sụt lún nền đất là quá trình chuyển dịch thẳng đứng của nền đất do gia tăng áp lực nén. Nguyên nhân chính gồm: (1) tự lún do quá trình cố kết và thoát nước tự nhiên; (2) tác động bên ngoài như tải trọng công trình, khai thác nước ngầm, hạ thấp mực nước, hoặc rung động gây chặt đất; và (3) tổng hợp cả hai yếu tố trên.

Việc khai thác nước ngầm làm giảm áp lực lỗ rỗng, tăng áp lực hữu hiệu, dẫn đến biến dạng nén và sụt lún nền đất. Quá trình này xảy ra do cố kết thấm, cố kết từ biến và phân hủy vật chất hữu cơ trong đất.

3.2 Khai thác nước ngầm quá mức đến việc sụt lún mặt đất tỉnh Cà Mau cũ

Sự phát triển mạnh mẽ của các hoạt động nông nghiệp và công nghiệp tại tỉnh Cà Mau trong những năm gần đây đã dẫn đến tình trạng khai thác nước dưới đất quá mức, trở thành nguyên nhân chính gây sụt lún nền đất và sạt lở bờ sông, bờ biển. Trước đây, việc khai thác nước ngầm chủ yếu phục vụ nhu cầu sinh hoạt ở quy mô hộ gia đình, nên mực nước dưới đất duy trì ở trạng thái ổn định. Tuy nhiên, từ sau năm 1995, cùng với quá trình công nghiệp hóa và ô nhiễm nguồn nước mặt, hoạt động khai thác nước ngầm gia tăng đáng kể để đáp ứng nhu cầu sản xuất nông nghiệp và nuôi trồng thủy sản.

Theo thống kê, khai thác nước ngầm phục vụ sinh hoạt chiếm khoảng 42% tổng lượng khai thác, nông nghiệp chiếm 40% và công nghiệp chiếm 18%. Hoạt động khai thác chủ yếu tập trung tại các tầng chứa nước có độ sâu từ 80-200 m trong khu vực đô thị và khu công nghiệp, làm hạ thấp mực nước ngầm và gia tăng nguy cơ sụt lún đất. Việc khai thác với lưu lượng lớn đã hình thành các phễu hạ thấp mực nước, gây liên thông thủy lực giữa các tầng Holocen và Pleistocen. Quá trình tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng trong các lớp đất yếu (bùn, sét dẻo mềm - dẻo chảy) làm tăng áp lực hữu hiệu, dẫn đến lún mặt đất trên phạm vi rộng (Tống Đức Liêm và nnk, 2004).

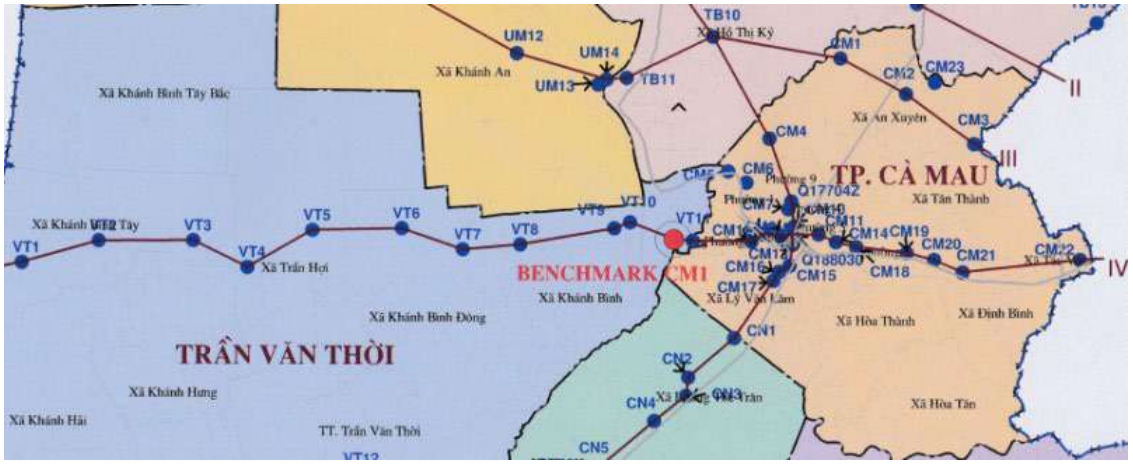
3.3 Điều kiện địa chất công trình của khu vực với việc thiết kế quan trắc lún

Vị trí lắp đặt các mốc quan trắc sụt lún được xác định dựa trên phân tích đặc điểm địa chất nền, mặt cắt địa kỹ thuật, số liệu khai thác và hạ thấp mực nước các tầng chứa nước, cùng các điều kiện địa chất công trình liên quan. Kết quả xác định được ba vị trí lắp đặt mốc quan trắc sụt lún nền đất.

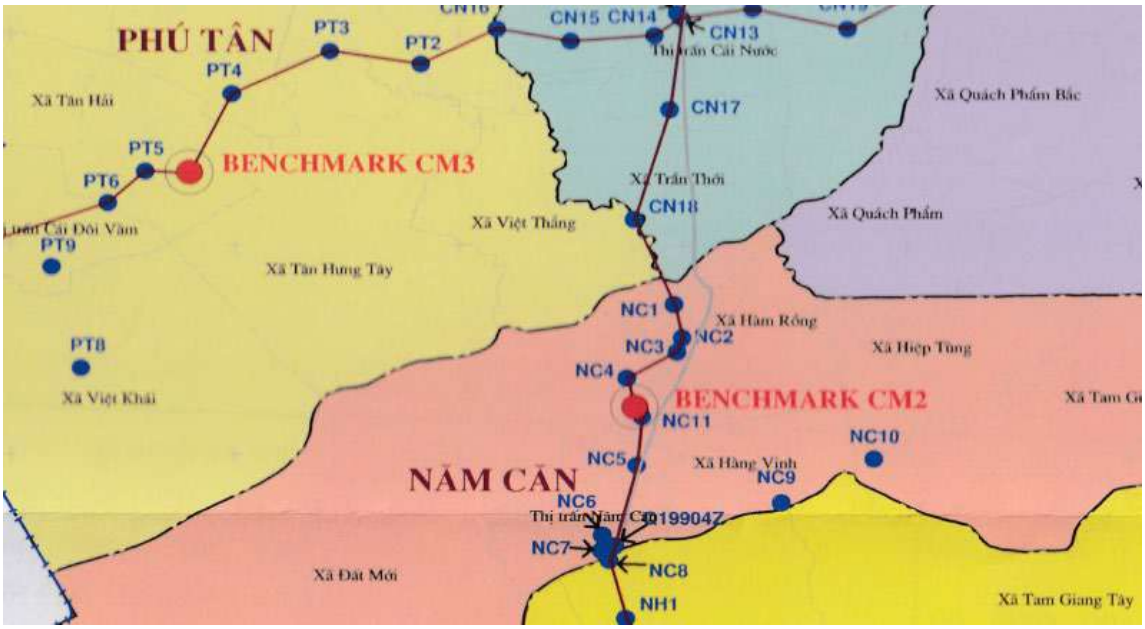
Vị trí 1 (CM1): Tại nhà ông Lê Văn Dũng, ấp Giao Vàm, xã Lợi An cũ, tỉnh Cà Mau;

Vị trí 2 (CM2): Tại nhà văn hóa xã Đất Mới cũ, ấp Ông Chừng, tỉnh Cà Mau;

Vị trí 3 (CM3): Tại trụ sở UBND xã Tân Hải cũ nay là xã Phú Tân, tỉnh Cà Mau.



Hình 3. Vị trí lắp đặt mốc quan trắc sụt lún nền đất CM1
(Nguyễn Quốc Khánh và nnk, 2017)

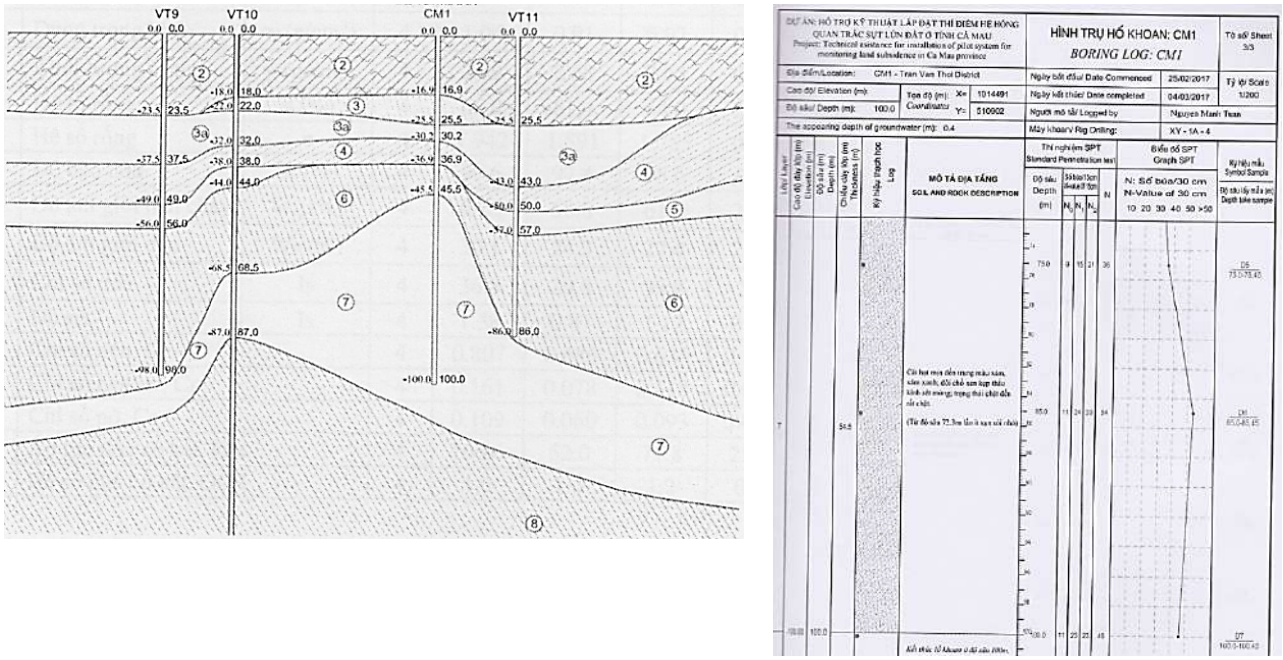


Hình 4. Vị trí lắp đặt các mốc quan trắc sụt lún nền đất CM2 và CM3
(Nguyễn Quốc Khánh và nnk, 2017)

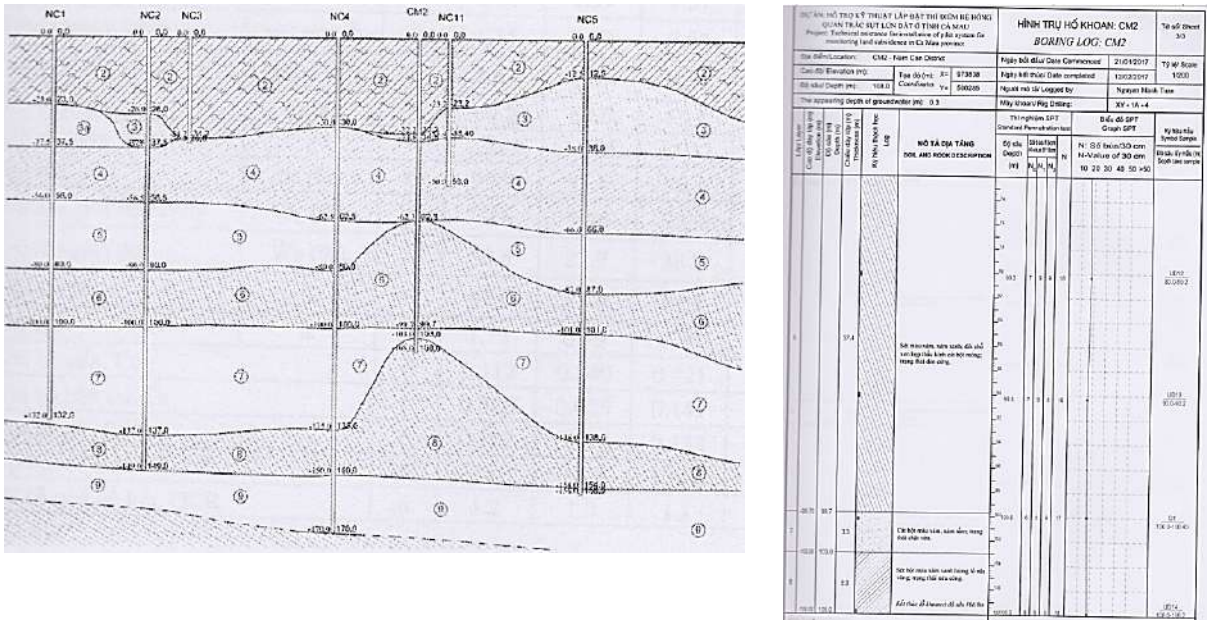
Trước khi lắp đặt mốc quan trắc sụt lún nền đất, công tác khảo sát địa chất được thực hiện bằng các thí nghiệm CPTu, SPT và khoan mô tả địa tầng kết hợp lấy mẫu thí nghiệm. Căn cứ vào cấu trúc nền khu vực nghiên cứu, có sự phân bố của các lớp đất yếu với bề dày lớn, chiều sâu và vị trí mốc chuẩn được thiết kế dựa trên lớp nền ổn định.

Lớp nền ổn định được xác định theo các tiêu chí: (1) có độ chặt hoặc độ rắn cao, ít biến đổi độ ẩm theo mùa; (2) nằm dưới phạm vi ảnh hưởng của mặt trượt hoặc vùng biến dạng dự kiến; (3) ổn định theo thời gian, không chịu tác động đáng kể từ biến động mực nước ngầm hay hoạt động thi công.

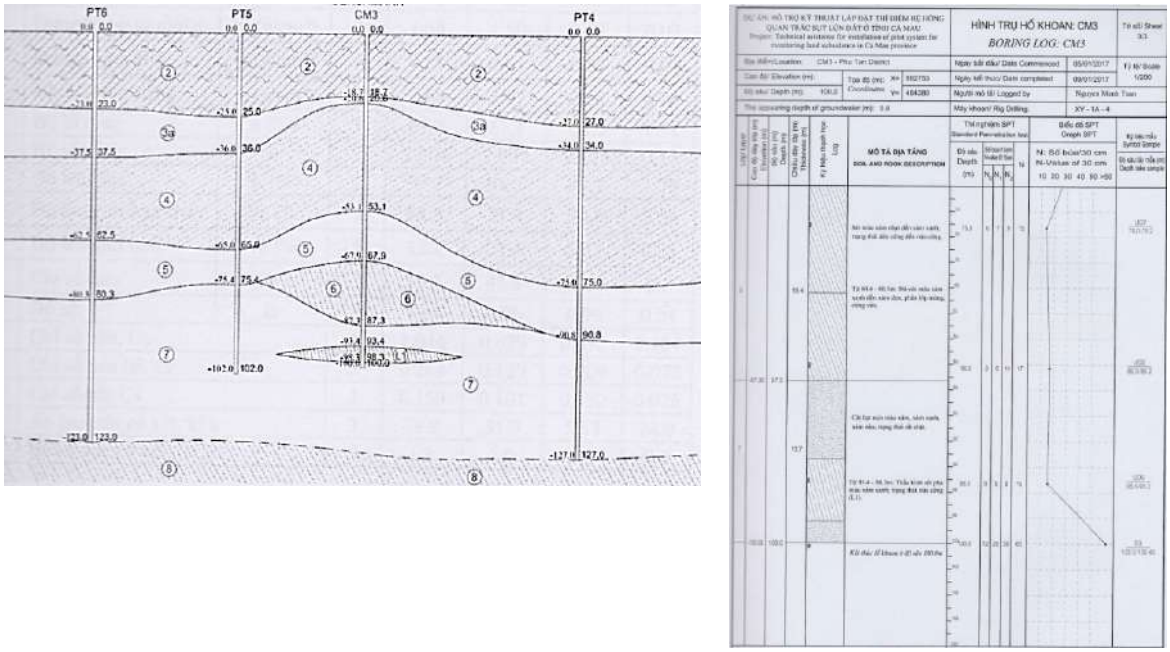
Theo đó, độ sâu khoan lắp đặt mốc tại các vị trí CM1, CM2 và CM3 lần lượt là 100 m, 108 m và 100 m. Lớp nền ổn định làm mốc chuẩn là lớp 7 (cát hạt mịn màu xám nâu đến xám xanh, kết cấu chặt vừa đến chặt) tại độ sâu 45,5 m ở CM1 và CM3, và lớp 8 (sét bột màu xám xanh loang nâu vàng, trạng thái nửa cứng) tại độ sâu 103 m ở CM2, với bề dày lớn hơn 50 m.



Hình 5. Mặt cắt địa chất công trình và hình trụ hố khoan tại vị trí CM1
(Nguyễn Quốc Khánh và nnk, 2017)



Hình 6. Mặt cắt địa chất công trình và hình trụ hố khoan tại vị trí CM2
(Nguyễn Quốc Khánh và nnk, 2017)



Hình 7. Mặt cắt địa chất công trình và hình trụ hố khoan tại vị trí CM3 (Nguyễn Quốc Khánh và nnk, 2017)

4. Thiết bị lắp đặt mốc quan trắc sụt lún nền đất

Mỗi mốc quan trắc lún gồm một cột ống đặc bằng sợi thủy tinh (solid fiberglass rod) đường kính ϕ12 mm, dài khoảng 100 m, nối với thanh thép xoắn ϕ16 mm ở đáy. Bên ngoài được bảo vệ bằng ống nhựa PVC hoặc PPR dài 3 m/đoạn, có ống Telescoping cho phép dịch chuyển 10 m, bảo đảm khả năng biến dạng theo nền đất khi lún.

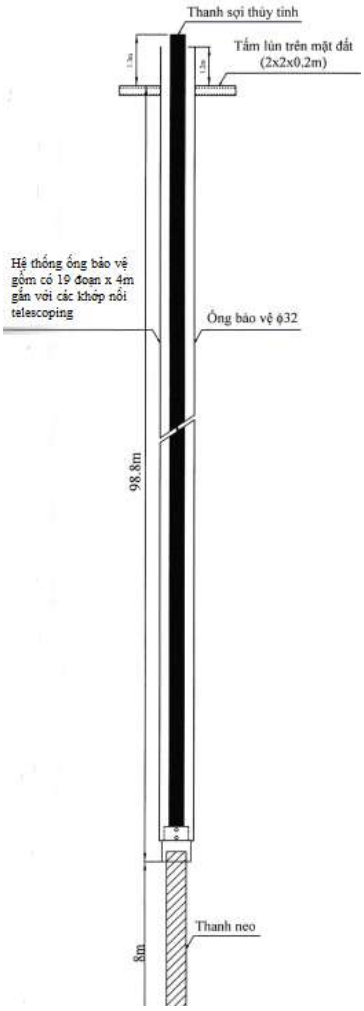
***Que sợi thủy tinh*:** nhẹ, cứng, chịu ăn mòn, không dẫn điện - nhiệt, cường độ cao; đường kính 12 mm, trọng lượng 215 g/m, nhập khẩu từ Trung Quốc.

Ống nhựa bảo vệ: gia công tại Việt Nam từ ống PPR Tiền Phong, đường kính ngoài 32 mm, dày 2,9 mm; đầu nối Telescoping đường kính 40 mm, dày 3,7 mm, khoảng dịch chuyển 20 cm; bố trí cách nhau 4 m (riêng mốc CM1 là 2 m).

Thiết bị đo lún: Sử dụng cảm biến dịch chuyển dây rung Vibrating Wire Displacement Sensor - Model 4450, Geokon, Mỹ), kết nối giữa mốc chuẩn và tấm bê tông đo lún. Thiết bị tích hợp cảm biến nhiệt độ Thermistor, dải đo -20 ÷ 80 °C, độ chính xác ±0,5 °C.

Thiết bị đo áp lực nước lỗ rỗng

Tại mỗi vị trí quan trắc sụt lún, lắp đặt ba đầu đo áp lực nước lỗ rỗng ở các độ sâu khác nhau. Độ sâu lắp đặt được xác định dựa trên kết quả thí nghiệm xuyên tĩnh CPTu và khoan khảo sát, nhằm theo dõi sự biến đổi áp lực nước trong các lớp đất có khả năng sụt lún. Thiết bị sử dụng là đầu đo Piezometer Model 4500S - 700 kPa của Geokon. Mỗi đầu đo được tích hợp cảm biến dây rung đo áp lực nước lỗ rỗng và cảm biến nhiệt độ Thermistor (dải đo -20 ÷ +80°C, độ chính xác ±0,5 °C) để xác định nhiệt độ tại độ sâu lắp đặt.



Hình 8. Sơ đồ lắp đặt mốc quan trắc sụt lún nền đất

(Nguyễn Quốc Khánh và nnk, 2017)

Thiết bị đọc dữ liệu

Thiết bị đo độ lún và áp lực nước lỗ rỗng sử dụng máy đo cầm tay GK404 của hãng Geokon.

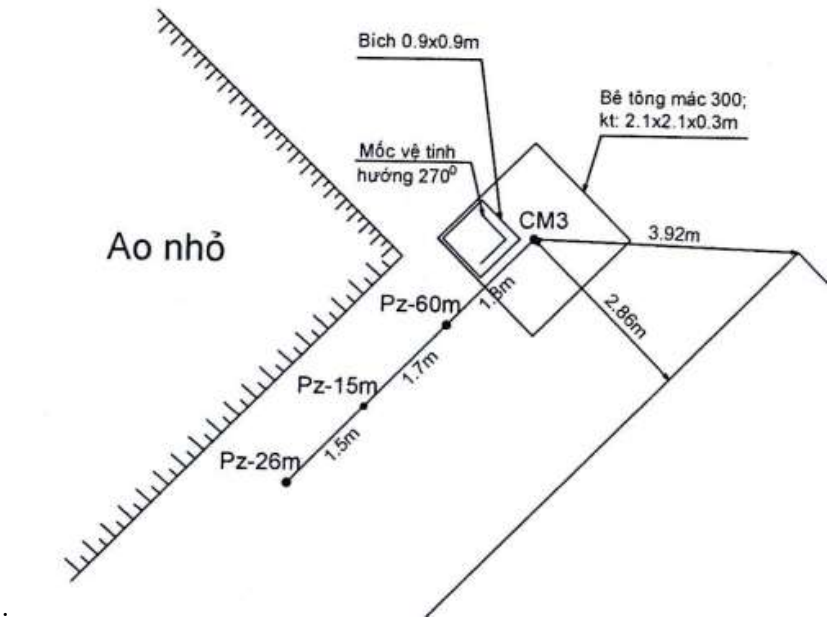
Thiết bị phản xạ góc Insar (Insar corner reflector)

Tại mỗi mốc quan trắc được lắp đặt một thiết bị phản xạ InSAR trên bề mặt tấm lún bê tông. Thiết bị được chế tạo bằng thép không gỉ Inox 304 trong nước.

Hộp bảo vệ thiết bị

Sau khi lắp đặt, tại mỗi mốc quan trắc sẽ xây hoặc đổ bê tông một khối hình chóp kích thước 45×65 cm, cao 40-60 cm trên nền bê tông để bảo vệ thiết bị và hệ thống cáp truyền dữ liệu. Phía trên bố trí hộp bảo vệ bằng thép Inox 304 (42×62×45 cm), có khóa an toàn, bảo đảm độ bền và tính thẩm mỹ (Nguyễn Quốc Khánh và nnk, 2017).

Hình 9. Thiết bị lắp đặt mốc quan trắc sụt lún nền đất (Slope Indicator - DGSI)



Hình 10. Mặt bằng lắp đặt mốc đo lún và các piezometer (Nguyễn Quốc Khánh và nnk, 2017)

5. Kết luận

Điều kiện địa chất công trình tỉnh Cà Mau cũ gồm nhiều lớp đất khác nhau, trong đó phổ biến là các lớp đất yếu có bề dày lớn, dễ gây sụt lún do khai thác nước ngầm và tác động ngoại sinh.

Kết quả dự báo lún bằng phương pháp giải tích và phần tử hữu hạn với giả định hệ số cố kết C_v không đổi cho sai số lớn so với số liệu quan trắc, đặc biệt khi thời gian tăng (Nguyễn Huy Phương và nnk, 2006). Do đó, việc xây dựng hệ thống quan trắc lún hiện đại theo thời gian thực, kết hợp cảm biến piezometer và kỹ thuật InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar), là cần thiết để theo dõi biến dạng nền đất một cách chính xác.

Trên cơ sở cấu trúc nền của khu vực, đã thiết kế và lắp đặt thí điểm ba trạm quan trắc lún (CM1, CM2, CM3) với độ sâu khoan lần lượt 100 m, 108 m và 100 m. Lớp nền ổn định được chọn làm mốc chuẩn với bề dày lớn hơn 50m gồm: lớp 7 (cát hạt mịn, kết cấu chặt vừa đến chặt, độ sâu khoảng 45,5 m tại CM1 và CM3) và lớp 8 (sét bột nửa cứng, độ sâu khoảng 103 m tại CM2).

Hệ thống quan trắc lún này cung cấp dữ liệu quan trọng cho quy hoạch, quản lý xây dựng, khai thác tài nguyên nước cũng như là theo dõi sự biến đổi môi trường địa chất - địa hệ tự nhiên kỹ thuật phục vụ đánh giá, kiểm soát, dự báo và điều khiển sự biến đổi môi trường địa chất ở các vùng lãnh thổ trong điều kiện phát triển kinh tế, biến đổi khí hậu và mực nước biển dâng (Phạm Văn Tỵ, 2020). Cần mở rộng mạng lưới giếng quan trắc, mốc lún và bộ phản xạ InSAR cho toàn vùng phía Nam Thành phố Hồ Chí Minh nhằm phục vụ phát triển bền vững.

Lời cảm ơn

Tác giả xin chân thành cảm ơn Viện Khoa học Địa chất & Khoáng sản, các nhà khoa học trong Viện đã chia sẻ tài liệu giúp hoàn thiện báo cáo này.

Tài liệu tham khảo

Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2013. Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam. *Nhà xuất bản Tài nguyên - Môi trường và Bản đồ Việt Nam*. Hà Nội.

Cổng thông tin điện tử tỉnh Cà Mau, 2024. *http://www.camau.gov.vn/wps/portal/gioi-thieu/tongquan/dieukientunhien*.

Cục Quản lý tài nguyên nước, 2014. Báo cáo kết quả thống kê, đánh giá hiện trạng khai thác nước dưới đất vùng bán đảo Cà Mau. Hà Nội.

Dương Mạnh Hùng và nnk, 2020. Xây dựng báo cáo hàng năm về lún mặt đất ở Việt Nam - Báo cáo kết quả thực hiện nhiệm vụ thường xuyên theo chức năng năm 2020. Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản, Hà Nội.

Nguyễn Huy Phương và nnk, 2006. Dự báo sụt lún mặt đất khu vực Thanh Trì - Hà Nội, có xét đến quy luật thay đổi của hệ số cố kết Cv theo thời gian. *Tạp chí khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất - Chuyên đề kỷ niệm 45 năm đào tạo ngành địa chất công trình, số 14/4.* Trường đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội.

Nguyễn Kim Quyên và nnk, 2009. Báo cáo Điều tra hiện trạng khai thác, sử dụng nước dưới đất, đánh giá chất lượng và biện pháp xử lý ô nhiễm nguồn nước dưới đất trên địa bàn tỉnh Cà Mau. Đoàn Quy hoạch và Điều tra 806, Tp. Hồ Chí Minh.

Nguyễn Đăng Túc, 2011. Đề tài cấp Nhà nước: "Nghiên cứu đánh giá hiện trạng, dự báo nguy cơ sụt lún đất và đề xuất các giải pháp phòng chống giảm nhẹ thiệt hại do sụt lún đất ở Thanh Hóa". Viện Địa chất - Viện Hàn Lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

Nguyễn Quốc Khánh và nnk 2017. Báo cáo kết quả lắp đặt 03 mốc quan trắc sụt lún nền đất tại tỉnh Cà Mau - Dự án:"Hỗ trợ kỹ thuật lắp đặt thí điểm hệ thống quan trắc sụt lún đất ở Mũi Cà Mau". Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản - Bộ Tài nguyên và Môi trường. Hà Nội.

Phạm Văn Tỵ. 2020. Cơ sở phương pháp luận địa chất công trình. *Nhà xuất bản xây dựng*. Hà Nội.

Trần Văn Tý và Huỳnh Văn Hiệp, 2017: " Hiện trạng khai thác nước dưới đất và mối tương quan giữa hạ thấp cao độ mực nước và sụt lún đất: Nghiên cứu tại Trà Vinh và Thành Phố Cần Thơ". *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ.* Tp. Cần Thơ.

Tống Đức Liêm và nnk, 2004. Báo cáo đánh giá nguồn nước dưới đất vùng thị xã Cà Mau. Liên đoàn Quy hoạch và Điều tra tài nguyên nước miền Nam. Tp. Hồ Chí Minh.

Kjell Karlsrud and other authors, 2020. Preliminary results of land subsidence monitoring in the Ca Mau Province. *Open Access PIAHS*.

Evaluation of the engineering geological conditions of the former Ca Mau province for the design and pilot installation of a ground subsidence monitoring system

Duong Manh Hung[1,*]
[1]*Vietnam Institute of Geosciences and Mineral Resources*
**Corresponding author: Email: duongmanhhung99@yahoo.com.vn*

Abstract

This paper presents the engineering geological conditions of the former Cà Mau Province to support the design of a land subsidence monitoring system, including topography, geology, stratigraphy and physical-mechanical properties, hydrogeology, and dynamic geological phenomena. Ground subsidence in the area is identified as a result of the interaction between engineering geological factors and external influences. Based on the analysis of subsoil characteristics, geotechnical cross-sections, and groundwater extraction and drawdown data, three monitoring sites (CM1, CM2, CM3) were selected. The foundation structure, characterized by thick weak soil layers, was examined to determine the depth and position of a stable reference layer, while suitable instruments for the subsidence monitoring system were also proposed.

Keywords: Engineering geological conditions, subsidence, subsidence monitoring, Ca Mau.

KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG HỖN HỢP CÁT NHIỄM MẶN VÀ TRO BAY LÀM BÊ TÔNG MẶT ĐƯỜNG

Huỳnh Văn Hiệp[1*], Trần Vũ Tịnh[2]
[1]Trường Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Trà Vinh.
[2]Học viên cao học ngành Kỹ thuật xây dựng công trình giao thông, Trường Đại học Trà Vinh
**Tác giả liên hệ: Email: hvhiep@tvu.edu.vn*

Tóm tắt

Đồng bằng sông Cửu Long của Việt Nam hiện nay đang đối mặt với tình trạng đó là khang hiếm vật liệu xây dựng để chế tạo bê tông và san lấp. Với mục tiêu là nghiên cứu ứng dụng hỗn hợp bê tông tro, xỉ nhiệt điện và cát nhiễm mặn khu vực xã Duyên Hải, tỉnh Vĩnh Long làm bê tông mặt đường, đạt yêu cầu kỹ thuật, đồng thời đảm bảo tính kinh tế và bền vững. Đề án sử dụng phương pháp thực nghiệm tỷ lệ thay thế xi măng bằng tro bay 30% và đánh giá ảnh hưởng các chỉ tiêu của bê tông. Kết quả của bê tông hiện trường: cường độ nén 35,89 MPa, cường độ chịu ép kéo khi ép chẻ 3,43 MPa, mô đun đàn hồi 1.0675 MPa và độ mài mòn 0,046 g/cm^2 sau 28 ngày tuổi, kết quả trên hoàn toàn đáp ứng theo TCVN 10380:2014. Ứng dụng và triển vọng của đề án là giải pháp phù hợp với khu vực ven biển có nguồn cát nhiễm mặn dồi dào và nhà máy nhiệt điện dẫn đến góp phần giảm ô nhiễm môi trường từ tro xỉ và tận dụng tài nguyên địa phương. Tuy nhiên, cần nghiên cứu dài hạn, theo dõi các đoạn thí nghiệm để đánh giá toàn diện về khả năng sử dụng rộng rãi cát nhiễm mặn, tro bay cho bê tông mặt đường giao thông.

Từ khóa: Bê tông mặt đường; cát nhiễm mặn; thay thế xi măng bằng tro bay.

1. Đặt vấn đề

Trong bối cảnh hiện nay, việc tìm kiếm và tận dụng các nguồn vật liệu thay thế, đặc biệt là các phế thải công nghiệp và vật liệu sẵn có tại địa phương, trở thành một hướng đi mang tính chiến lược, vừa giải quyết bài toán kinh tế, vừa góp phần bảo vệ môi trường. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng tro xỉ có thể được sử dụng hiệu quả như một loại phụ gia khoáng hoạt tính hoặc cốt liệu mịn thay thế một phần xi măng và cát tự nhiên trong sản xuất bê tông, giúp cải thiện một số tính chất của bê tông và giảm chi phí. Theo đó, Gonzalez and Martinez-Abella., 2008 thì khoảng 75% chất thải xây dựng, bao gồm cả bê tông và gạch xây, có thể được tái sử dụng trong sản xuất bê tông. Tuy nhiên, Topcu and Mustafa., 2008 thì cho rằng việc đưa cốt liệu tái chế vào bê tông đã được chứng minh là làm giảm cường độ nén. Duan and Chi., 2014; Pedro và cộng sự., 2015 đã đưa ra một số nghiên cứu để được thực hiện để xác định các yếu tố ảnh hưởng đến cường độ nén của bê tông sử dụng cốt liệu tái chế, trong đó tỷ lệ thay thế cốt liệu tự nhiên và tỷ lệ nước trên xi măng được coi là các thông số có ảnh hưởng cao nhất đến cường độ nén của rác tái chế. Bên cạnh đó, các nguồn cốt liệu phế thải khác nhau, kích thước hạt của cốt liệu thô cũng đóng một vai trò quan trọng trong việc xác định cường độ nén của rác tái chế. Mặc dù các mẫu bê tông có cùng tỷ lệ nước/xi măng, nhưng cường độ nén của nó là khác nhau. Điều này được chứng minh trong nghiên cứu của Rahal và cộng sự., 2007, nghiên cứu của Tu và cộng sự., 2006 khi tỷ lệ nước/xi măng đối với hỗn hợp bê tông đều là 0,4 và sử dụng cốt liệu phế thải thay thế 100% nhưng kết quả thu được ở hai nghiên cứu là khác nhau (lần lượt là 46,5 MPa và 26 MPa). Ngoài ra, hàm lượng xi măng trong hỗn hợp cũng là một yếu tố dẫn đến kết quả khác biệt này. Nghiên cứu của Tu và cộng sự., 2006 cho thấy hàm lượng nước trong hỗn hợp bê tông cũng là một yếu tố ảnh hưởng đến cường độ nén của rác tái chế, họ kết luận rằng rác tái chế cần đủ nước để đáp ứng yêu cầu về khả năng hấp thụ. Phân tích trên cho thấy, mặc dù đã có nhiều nghiên cứu, nhưng ảnh hưởng của thành phần cũng như tỷ lệ của cốt liệu thay thế đến cường độ nén của rác tái chế vẫn chưa được phân tích một cách hệ thống và nhất quán. Mặc dù tiềm năng ứng dụng của tro xỉ nhiệt điện và cát nhiễm mặn trong bê tông đã được ghi nhận, việc kết hợp đồng thời hai loại vật liệu này để chế tạo bê tông

mặt đường, đặc biệt là thiết kế cấp phối tối ưu phù hợp với điều kiện cụ thể tại xã Duyên Hải, tỉnh Vĩnh Long, vẫn còn là một khoảng trống nghiên cứu. Do đó, việc nghiên cứu một cách hệ thống để xác định tỷ lệ phối trộn tối ưu giữa xi măng, tro xỉ, cát nhiễm mặn, đá dăm và các phụ gia (nếu có) nhằm đảm bảo các yêu cầu về cường độ, độ bền, khả năng thi công và tính kinh tế cho bê tông mặt đường là vô cùng cần thiết góp phần tìm ra giải pháp vật liệu xây dựng bền vững, tiết kiệm chi phí và thân thiện với môi trường cho địa phương, đồng thời mở ra hướng ứng dụng hiệu quả các nguồn phế thải công nghiệp và vật liệu sẵn có.

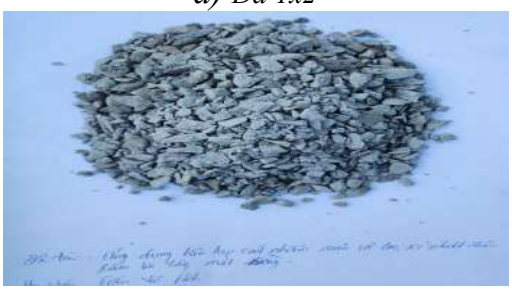
2. Phương pháp nghiên cứu

2.1 Vật liệu chế tạo bê tông

Tro bay, cát nhiễm mặn, đá 1x2, đá 0,5x1, đá mi, xi măng, nước và phụ gia (hình 1). Tất cả các chỉ tiêu cơ lí cũng như thành phần hạt được làm thí nghiệm với phương pháp thí nghiệm theo TCVN 7572:2006, kết quả đều đạt theo yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 7570:2006.

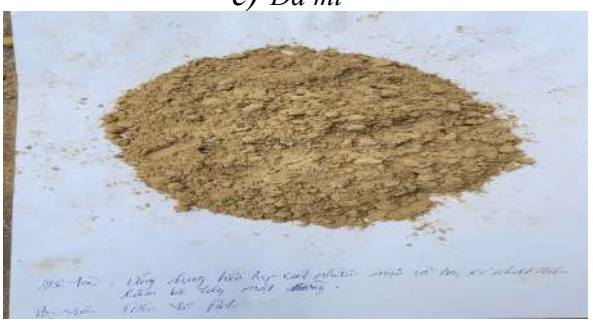
a) Đá 1x2

b) Đá 0,5x1



c) Đá mi

d) Cát nhiễm mặn



e) Tro bay

f) Xi măng

Hình 1. Vật liệu chế tạo bê tông

2.2 Cấp phối và chế tạo bê tông

Từ các cốt liệu trên xác định được hàm lượng cấp phối tiêu chuẩn của bê tông có cấp độ bền B30 trong phòng thí nghiệm. Sau đó hiệu chỉnh cấp phối giảm hàm lượng xi măng thay thế bằng tro bay theo tỷ lệ 30%, để ứng dụng thực hiện ngoài hiện trường tỷ lệ thành phần 1 m^3 bê tông có cấp độ bền B30 được thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. *Tỷ lệ thành phần cho 1m³ bê tông*

Vật liệu	Đơn vị	Khối lượng
Tro bay	kg	132
Xi măng PCB40	kg	368
Đá 1x2	kg	543
Đá 0,5x1	kg	543
Cát nhiễm mặn	kg	405
Đá mi	kg	313
Nước	lít	160
Phụ gia	lít	5

Vật liệu sau khi được cân đong đủ khối lượng cho 1 mẻ trộn thì tiến hành trộn. Quy trình trộn bao gồm 2 giai đoạn: Giai đoạn 1 (trộn khô): Đây là giai đoạn trộn khô hỗn hợp cốt liệu với hỗn hợp chất kết dính để tạo sự đồng nhất ban đầu. Cho hỗn hợp đá, cát mặn, tro bay, dạng khô vào để trộn khô trong vòng 30 giây. Giai đoạn 2 (trộn ướt): cho 50% nước vào trộn trong 1 phút. Sau đó cho 50% nước còn lại vào thùng trộn và trộn trong thời gian trộn 2,5 phút. Tổng thời gian trộn là 4,0 phút. Các vật liệu trước khi trộn được xác định khối lượng đảm bảo đúng theo tỉ lệ thành phần của các cấp phối.

2.3 Thi công mặt đường

Đoạn đường thực hiện có chiều dài 20m, chiều rộng 2,5m, chiều dày lớp bê tông là 16cm. Bê tông sau khi trộn được tiến hành kiểm tra độ sụt. Sử dụng côn Abrams hoặc côn V-funnel để đo độ sụt, đảm bảo phù hợp với yêu cầu thi công (5-10 cm) (hình 2). Sau đó tiến hành đổ bê tông, bê tông mặt đường được đổ đảm bảo đúng chiều dày và kích thước đã chuẩn bị (hình 3).

Hình 2. Kiểm tra độ sụt của bê tông

Bê tông sau khi kiểm tra đạt độ sụt yêu cầu tiến hành đổ bê tông, bê tông được đổ thủ công liên tục từng đoạn, bề mặt bê tông sau khi đổ được làm phẳng đảm bảo thẩm mỹ.

Hình 3. Đoạn đường thi công

3. Kết quả và thảo luận

3.1 Lấy mẫu

Bê tông đổ tại hiện trường được lấy mẫu để kiểm tra cường độ và chất lượng của bê tông. Bê tông được lấy mẫu bằng khuôn mẫu lập phương150x150x150mm, khuôn mẫu trụ 150x300mm và khuôn mẫu lập phương 70x70x70mm.

3.2 Khoan mẫu hiện trường

Bê tông khi đổ xong và ổn định tiến hành khoan lấy mẫu để xác định cường độ, chất lượng bê tông và so sánh với cường độ bê tông mẫu đúc sẵn (hình 4).

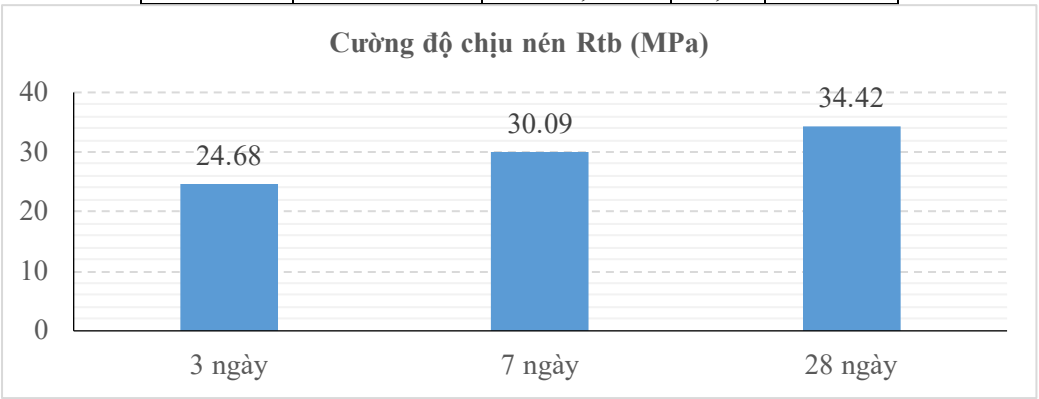
Hình 4. Mẫu khoan hiện trường

3.3 Kết quả

- Cường độ chịu nén đối với mẫu đúc và mẫu khoan hiện trường sau 3 ngày, 7 ngày và 28 ngày được thí nghiệm theo TCVN 3118:2022 và TCXDVN 239:2006. Kết quả thu được từ quá trình thí nghiệm được ghi nhận và trình bày trong Bảng 2 và Hình 5.

***Bảng 2**. Kết quả cường độ chịu nén của mẫu đúc*

Mẫu thí nghiệm	Tiết diện mặt nén (mm^2)	Lực phá hủy (kN)	Cường độ chịu nén (Mpa)	
			R_{tv}	R_{tb}
*Cường độ nén mẫu 3 ngày:				
Mẫu 1	22.500	556,19	24,72	**24,68**
Mẫu 2	22.500	522,05	23,20	
Mẫu 3	22.500	588,03	26,13	
*Cường độ nén mẫu 7 ngày:				
Mẫu 1	22.500	720,17	32,01	**30,09**
Mẫu 2	22.500	687,91	30,57	
Mẫu 3	22.500	622,87	27,68	
*Cường độ nén mẫu 28 ngày:				
Mẫu 1	22.500	763,51	33,93	**34,42**
Mẫu 2	22.500	766,26	34,06	
Mẫu 3	22.500	793,91	35,28	

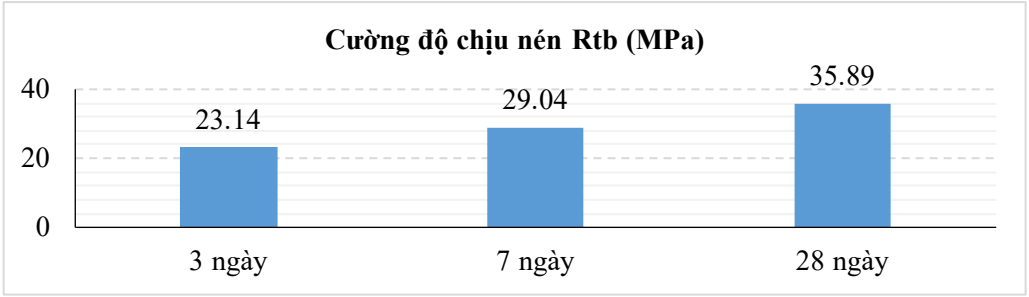


Hình 5. Cường độ chịu nén của mẫu đúc

Kết quả thí nghiệm của mẫu bê tông được xác định ở tuổi ngày 3, 7 và 28 ngày với phương pháp khoan SS (Screw Shaft). Kết quả được trình bày trong Bảng 3 và Hình 6.

***Bảng 3.** Kết quả chịu nén của mẫu khoan*

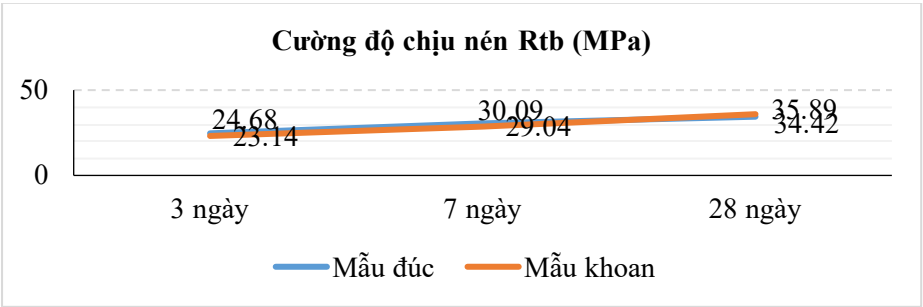
Mẫu thí nghiệm	Kích thước lỗ khoan		Diện tích chịu lực	Lực phá hủy	Cường độ mẫu khoan (N/mm^2)	Cường độ hiện trường từng mẫu khoan R_{hti}			Cường độ hiện trường trung bình R_{ht} (MPa)
	Chiều cao h (mm)	Đường kính, d (mm)				Tỷ lệ h/d	HS (Hollow Stem) phương khoan	R_{hti}	
*Cường độ nén mẫu 3 ngày:									
Mẫu 1	145	94	6.936	150.750	21,73	1,54	2,3	23,27	**23,14**
Mẫu 2	150	94	6.936	142.540	20,55	1,60	2,3	22,23	
Mẫu 3	140	94	6.936	156.620	22,58	1,49	2,3	23,92	
*Cường độ nén mẫu 7 ngày:									
Mẫu 1	150	94	6.936	195.370	28,17	1,60	2,3	30,46	**29,04**
Mẫu 2	146	94	6.936	180.420	26,01	1,55	2,3	27,91	
Mẫu 3	145	94	6.936	186.270	26,86	1,54	2,3	28,75	
*Cường độ nén mẫu 28 ngày:									
Mẫu 1	141	94	6.936	277.740	40,04	1,50	2,3	42,51	**35,89**
Mẫu 2	140	94	6.936	228.940	33,01	1,49	2,3	34,96	
Mẫu 3	140	94	6.936	197.790	28,52	1,49	2,3	30,20	



Hình 6. Cường độ chịu nén của mẫu khoan

So sánh cường độ chịu nén của mẫu đúc và mẫu khoan hiện trường

Từ kết quả ta thấy rằng cường độ chịu nén của mẫu đúc ở 3 ngày và 7 ngày cao hơn cường độ của mẫu khoan hiện trường lần lượt là 6,25% và 3,49%. Cường độ chịu nén ở 28 ngày của mẫu đúc thấp mẫu khoan hiện trường là 4,27%. Sự phát triển cường độ ở giai đoạn từ 3 ngày đến 7 ngày của mẫu đúc phát triển nhanh hơn, tuy nhiên ở giai đoạn từ 7 ngày đến 28 ngày mẫu khoan hiện trường lại có sự phát triển cường độ nhanh hơn.



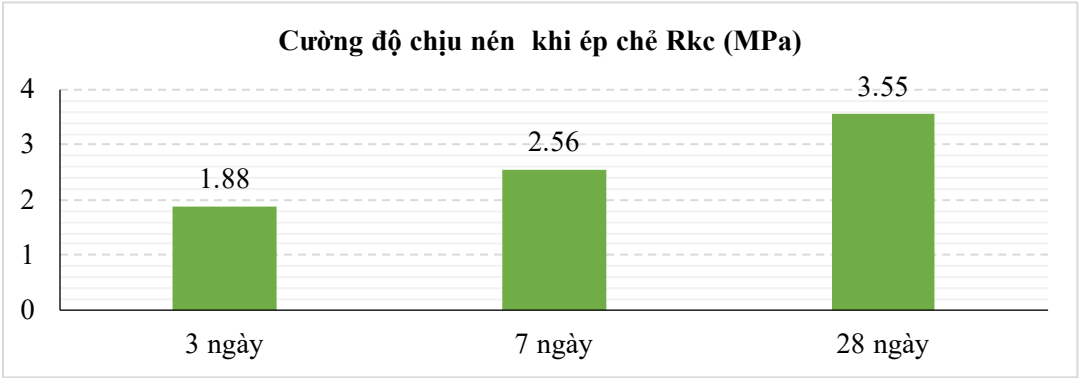
Hình 7. Cường độ của mẫu đúc và mẫu khoan

- Cường độ chịu kéo khi ép chẻ cho mẫu đúc và mẫu khoan

Các mẫu sau khi nén kết quả tính toán được áp dụng theo tiêu chuẩn TCVN 8862:2011 với chiều cao là 300mm, đường kính 150mm. Kết quả thí nghiệm được trình bày trong Bảng 4 và Hình 8.

Bảng 4. *Kết quả cường độ chịu kéo khi ép chẻ của mẫu đúc*

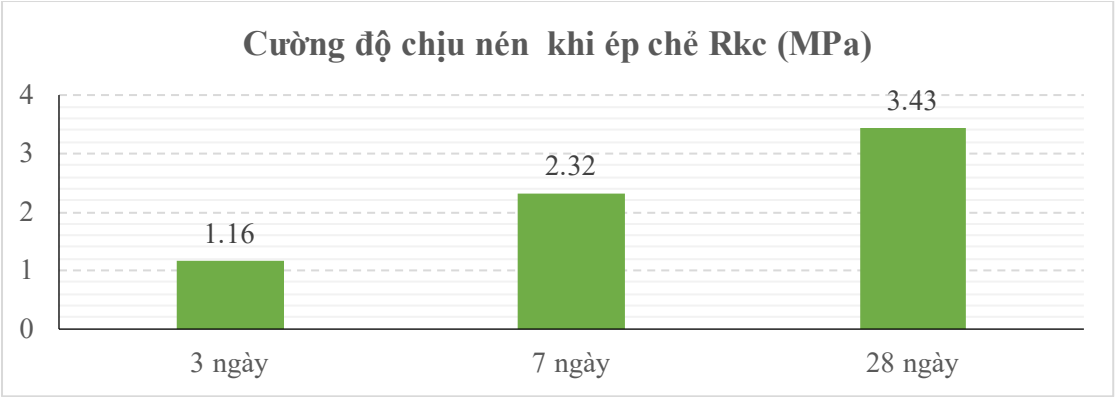
Mẫu thí nghiệm	Tải trọng phá hủy (N)	Cường độ chịu kéo khi ép chẻ R_{kc} (MPa)	Cường độ chịu kéo khi ép chẻ trung bình R_{kctb} (MPa)
*Cường độ mẫu 3 ngày:			
Mẫu 1	157.740	2,23	**1,88**
Mẫu 2	87.540	1,24	
Mẫu 3	152.430	2,16	
*Cường độ mẫu 7 ngày:			
Mẫu 1	160.040	2,26	**2,56**
Mẫu 2	162.260	2,30	
Mẫu 3	221.050	3,13	
*Cường độ mẫu 28 ngày:			
Mẫu 1	245.040	3,47	**3,55**
Mẫu 2	256.260	3,63	
Mẫu 3	251.050	3,55	



Hình 8. Cường độ kéo khi ép chẻ của mẫu đúc

Bảng 5. *Kết quả cường độ chịu kéo khi ép chẻ của hiện trường*

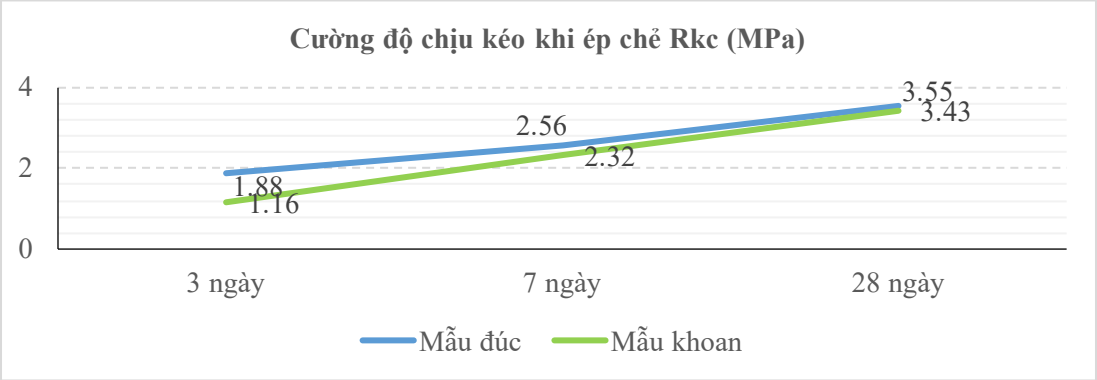
Mẫu thí nghiệm	Chiều cao h (mm)	Đường kính, d (mm)	Tải trọng phá hủy (N)	Cường độ chịu kéo khi ép chẻ R_{kc} (MPa)	Cường độ chịu kéo khi ép chẻ trung bình R_{kctb} (MPa)
*Cường độ mẫu 3 ngày:					
Mẫu 1	145	94	25.570	1,19	**1,16**
Mẫu 2	150	94	23.540	1,06	
Mẫu 3	145	94	26.350	1,23	
*Cường độ mẫu 7 ngày:					
Mẫu 1	140	94	45.670	2,21	**2,32**
Mẫu 2	140	94	50.130	2,43	
Mẫu 3	140	94	48.640	2,32	
*Cường độ mẫu 28 ngày:					
Mẫu 1	125	94	69.560	3,77	**3,43**
Mẫu 2	140	94	60.870	2,94	
Mẫu 3	125	94	65.820	3,57	



Hình 9. Cường độ kéo khi ép chẻ của hiện trường

So sánh cường độ của mẫu đúc và mẫu khoan hiện trường

Cường độ chịu kéo khi ép chẻ ở 3 ngày tuổi mẫu đúc cao hơn mẫu khoan 38,01%, ở 7 ngày tuổi mẫu đúc cao hơn mẫu khoan là 9,53% và ở 28 ngày tuổi mẫu đúc cao hơn mẫu khoan là 3,42%. Từ kết quả trên ta nhận thấy thời gian đông kết ở 3 ngày đầu của bê tông ngoài hiện trường chậm hơn so với mẫu bê tông được bão dưỡng trong phòng thí nghiệm, tuy nhiên kết quả ở 28 ngày tuổi của 2 mẫu là gần xấp xỉ nhau.



Hình 10. So sánh cường độ chịu kéo khi ép chẻ

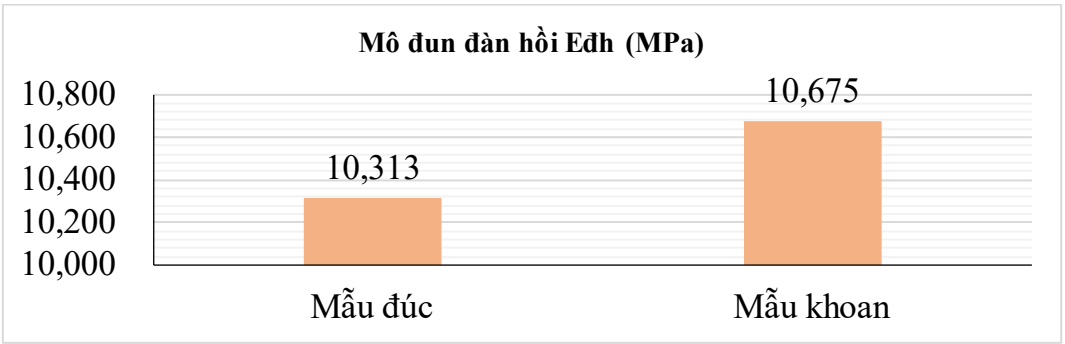
- Mô đun đàn hồi: Thực hiện thí nghiệm theo TCVN 9843:2013, ta có kết quả thể hiện trong bảng 6 và bảng 7.

Bảng 6. *Kết quả mô đun đàn hồi mẫu đúc*

Tên mẫu thí nghiệm	Kích thước mẫu		Cường độ nén từng mẫu R_i (MPa)	Cường độ trung bình R_{tb} (MPa)	Tải trọng P khi gia tải lên mẫu (N)	Áp lực nén p (MPa)	Trị số biến dạng phục hồi L (mm)	Mô đun đàn hồi từng mẫu $E_{đh}$ (MPa)	Mô đun đàn hồi trung bình $E_{đh}$ (MPa)
	Đường kính d (mm)	Chiều cao h (mm)							
Mẫu 1	150	300	33,93	34,42	152.702	6,786	0,187	10.887	10.313
Mẫu 2	150	300	34,06		153.252	6,812	0,187	10.928	
Mẫu 3	150	300	35,28		158.782	7,056	0,232	9.124	

Bảng 7. *Kết quả mô đun đàn hồi mẫu khoan*

Tên mẫu thí nghiệm	Kích thước mẫu		Cường độ nén từng mẫu R_i (N)	Cường độ nén trung bình R_{tb} (N)	Tải trọng P khi gia tải lên mẫu (N)	Áp lực nén p (N)	Trị số biến dạng phục hồi L (mm)	Mô đun đàn hồi từng mẫu $E_{đh}$ (MPa)	Mô đun đàn hồi trung bình $E_{đh}$ (MPa)
	Đường kính d (mm)	Chiều cao h (mm)							
Mẫu 1	94	145	42,51	35,89	55.548	8,50	0,1195	10.316	10.675
Mẫu 2	94	150	34,96		45.788	6,99	0,095	11.041	
Mẫu 3	94	151	30,20		39.558	6,04	0,0855	10.669	



Hình 11. So sánh mô đun đàn hồi của mẫu đúc và khoan hiện trường

Từ kết quả thể hiện qua hình 11 nhận thấy mô đun đàn hồi của mẫu khoan cao hơn mẫu đúc với tỉ lệ chênh lệch khoảng 3,39%, kết quả trên hoàn toàn phù hợp do cường độ chịu nén của mẫu khoan cao hơn mẫu đúc.

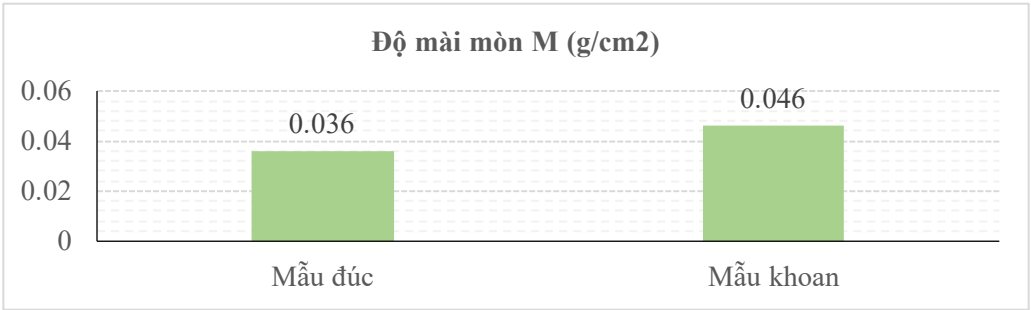
- Độ mài mòn: Thực hiện các thí nghiệm mài mòn mẫu khoan và đúc với 28 ngày tuổi theo TCVN 3114:2022, kết quả được thể hiện trong bảng 8 và bảng 9.

Bảng 8. *Kết quả độ mài mòn của mẫu đúc*

Tên mẫu thí nghiệm	Kích thước mẫu (cm)		Diện tích mặt mài A (cm^2)	Khối lượng ban đầu của mẫu m_o (g)	Khối lượng của mẫu sau khi mài m_1(g)	Độ mài mòn của từng viên mẫu M_i (g/cm^2)	Độ mài mòn trung bình M (g/cm^2)
Mẫu 1	7	7	49	780,58	778,63	0,040	0,036
Mẫu 2	7	7	49	787,53	785,80	0,035	
Mẫu 3	7	7	49	794,38	792,80	0,032	

Bảng 9. *Kết quả độ mài mòn của mẫu khoan*

Tên mẫu thí nghiệm	Kích thước mẫu (cm)		Diện tích mặt mài A (cm^2)	Khối lượng ban đầu của mẫu m_o (g)	Khối lượng của mẫu sau khi mài m_1 (g)	Độ mài mòn của từng viên mẫu M_i (g/cm^2)	Độ mài mòn trung bình M (g/cm^2)
Mẫu 1	7,3	7,3	53,29	835,46	833,24	0,042	0,046
Mẫu 2	7	7,4	51,80	838,43	836,75	0,032	
Mẫu 3	7	7,2	50,40	832,56	829,31	0,064	



Hình 12. Độ mài mòn của mẫu đúc và mẫu hiện trường

3.4 Thảo luận

Sự phát triển cường độ chịu nén của bê tông sử dụng cát nhiễm mặn của 2 mẫu, cấp độ bền B30 phù hợp với quy luật phát triển cường độ nén của bê tông thông thường. Cường độ chịu nén của bê tông phát triển mạnh trong 7 ngày đầu đối với mẫu đúc, còn đối với mẫu khoan hiện trường cường độ phát triển mạnh ở 7 ngày đến 28 ngày, được thể hiện qua cường độ chịu nén của mẫu đúc ở 3 ngày (82,27%), 7 ngày (100,3%), 28 ngày (114,73%) so với cường độ chịu nén yêu cầu ở tuổi 28 ngày. Còn mẫu khoan hiện trường cường độ chịu nén ở 3 ngày, 7 ngày và 28 ngày lần lượt là 77,13%, 96,8% và 119,64%. Tuy nhiên ở 28 ngày tuổi cả 2 mẫu đều đạt và có kết quả cường độ chịu nén lớn hơn yêu cầu là 34,42 MPa và 35,89 MPa, hình 7. Dựa vào hình 10 nhận thấy rằng cường độ chịu kéo khi ép chẻ của mẫu đúc cao hơn mẫu khoan hiện trường, ở 28 ngày cường độ mẫu đúc là 3,55 Mpa, mẫu khoan là 3,43 MPa. So với giá trị cường độ chịu kéo khi ép chẻ của bê tông thông thường cấp độ bền B30, giá trị cường độ của 2 mẫu đạt yêu và nằm trong khoảng giá trị cho phép từ 2,5-3,8 MPa. Dựa vào hình 11 mô đun đàn hồi ở 28 ngày tuổi mẫu đúc có giá trị là

10.313 MPa, mẫu khoan có giá trị là 10.675 MPa. Giá trị của mẫu khoan cao hơn khoảng 3,39% sự chênh lệch này hoàn toàn phù hợp với cường độ chịu nén của 2 mẫu. Dựa vào hình 12 độ mài mòn ở 28 ngày tuổi của mẫu khoan là 0,046 g/cm^2 cao hơn so với mẫu đúc là 0,036 g/cm^2, tuy nhiên độ mài mòn của 2 mẫu vẫn đạt so với tiêu chuẩn TCCS 39:2022. Theo TCVN 10380:2014 thì kết quả trên đáp ứng được làm bê tông mặt đường giao thông hiện nay.

4. Kết luận

Từ các kết quả thực nghiệm đạt được, việc ứng dụng hỗn hợp cát nhiễm mặn và tro nhiệt điện làm bê tông mặt đường có thể rút ra được một số kết luận như sau:

- Từ cấp phối thiết kế trong phòng thí nghiệm có hàm lượng thay thế 30% xi măng bằng tro bay khi thực nghiệm ngoài hiện trường có cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo khi ép chẻ đều đạt cường độ yêu cầu và đáp ứng tiêu chuẩn TCVN 10380:2014.

- Mô đun đàn hồi của bê tông có mối quan hệ tỉ lệ với cường độ chịu nén, tuy nhiên giá trị mô đun đàn của hỗn hợp bê tông thấp hơn đáng kể so với bê tông truyền thống.

- Độ mài mòn của hỗn hợp bê tông đáp ứng tiêu chuẩn TCCS 39:2022, nhỏ hơn <0,6 g/cm^2 đối với mặt đường ô tô cấp IV và nhỏ hơn <0,3 g/cm^2 đối với mặt đường ô tô cấp I, cấp II, cấp III. Tuy nhiên cần có thêm thời gian để theo dõi và đánh giá toàn diện hơn.

Tóm lại, việc sử dụng hỗn hợp bê tông cát nhiễm mặn và tro nhiệt điện là một giải pháp tiềm năng để đối phó với tình trạng khan hiếm cát sông hiện nay. Tuy nhiên, cần tiếp tục quan trắc, theo dõi các đoạn thí nghiệm để đánh giá toàn diện về khả năng sử dụng rộng rãi cát nhiễm mặn, tro bay cho bê tông mặt đường giao thông, đặc biệt lưu ý đến quy trình xử lí cát nhiễm mặn để loại bỏ muối và lựa chọn tỷ lệ tro bay phù hợp để đảm bảo chất lượng và độ bền lâu của công trình.

Tài liệu tham khảo

Duan Zhen Hua, Chi Sun Poon, 2014. Properties of recycled aggregate concrete made with recycled aggregates with different amounts of old adhered mortars. *Materials & Design*, volume 58, pp.19-29. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.01.044

González-Fonteboa B., F. Martinez-Abella, 2008. Concretes with aggregates from demolition waste and silica fume, Materials and mechanical properties. *Building and Environment*, volume 43, issue 4, pp.429-437. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.01.008

Pedro D., J. De Brito, L. Evangelista, 2015. Performance of concrete made with aggregates recycled from precasting industry waste: influence of the crushing process. *Materials and Structures*, pp.3965-3978. https://doi.org/10.1617/s11527-014-0456-7

Rahal Khaldoun, 2007. Mechanical properties of concrete with recycled coarse aggregate. *Building and Environment*, volume 42, issue 1, pp. 407-415. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.07.033

Topcu Ilker Bekir, Mustafa Sarıdemir, 2008. Prediction of mechanical properties of recycled aggregate concretes containing silica fume using artificial neural networks and fuzzy logic. *Computational Materials Science*, volume 42, issue 1, pp. 74-82. https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2007.06.011

Tu Tsung-Yueh, Yuen-Yuen Chen, Chao-Lung Hwang, 2006. Properties of HPC with recycled aggregates. *Cement and Concrete Research*, volume 36, issue 5, pp. 943-950. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.11.022

Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 7572:2006. Cốt liệu cho bê tông và vữa-Phương pháp thử. *Hà Nội, Bộ Khoa học và Công nghệ.*

Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 7570:2006. Cốt liệu cho bê tông và vữa-Yêu cầu kỹ thuật. *Hà Nội, Bộ Khoa học và Công nghệ.*

Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 3118:2022. *Bê tông-Phương pháp xác định cường độ chịu nén. Hà Nội, Bộ Khoa học và Công nghệ.*

Tiêu chuẩn Việt Nam TCXDVN 239:2006. Bê tông nặng-chỉ dẫn đánh giá cường độ bê tông trên kết cấu công trình. *Hà Nội, Bộ Xây dựng-Quyết định số 10/2006/QĐ-BXD.*

Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 8862:2011. Quy trình thí nghiệm xác định cường độ kéo khi ép chẻ của vật liệu hạt liên kết bằng các chất kết dính. *Hà Nội, Bộ Khoa học và Công nghệ.*

Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 9843:2013. Xác định mô đun đàn hồi của vật liệu đá gia cố chất kết dính vô cơ trong phòng thí nghiệm. *Hà Nội, Bộ Khoa học và Công nghệ.*

Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 3114:2022. *Bê tông-Phương pháp xác định độ mài mòn. Hà Nội, Bộ Khoa học và Công nghệ.*

Tiêu chuẩn *TCCS 39:2022/TCĐBVN.* Thiết kế mặt đường bê tông xi măng thông thường có khe nối trong xây dựng công trình giao thông. *Hà Nội, Tổng cục Đường bộ Việt Nam.*

Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 10380:2014. Đường giao thông nông thôn-yêu cầu thiết kế. *Hà Nội, Bộ Khoa học và Công nghệ.*

Application potential of salt sand and fly ash mixtures for pavement concrete

Huynh Van Hiep[1*], Tran Vu Tinh[2]
[1]Collge of Engineering and Technology, Tra Vinh University
[2]Graduate student in Transportation Engineering, Tra Vinh University
**Corresponding author: Email: hvhiep@tvu.edu.vn*

Abstract

The Mekong Delta region of Vietnam is currently facing a shortage of construction materials for concrete production and landfilling. This study aims to explore the application of a concrete mixture using fly ash, thermal power plant bottom ash, and salt sand from Duyen Hai commune, Vinh Long province, for pavement concrete that meets technical standards while ensuring economic efficiency and sustainability. The experimental method involves replacing 30% of cement with fly ash and evaluating the effects on various concrete properties. The test results of field concrete showed: compressive strength of 35.89 MPa, splitting tensile strength of 3.43 MPa, modulus of elasticity of 1,0675 MPa, and abrasion loss of 0.046 g/cm² after 28 days of curing. These results fully comply with TCVN 10380:2014. The application and prospects of this project present a suitable solution for coastal areas with abundant salt sand and nearby thermal power plants. It contributes to reducing environmental pollution from ash residues and utilizing local resources. However, long-term studies and monitoring of test sections are necessary to comprehensively evaluate the potential for widespread use of salt sand and fly ash in pavement concrete for transportation infrastructure.

Keywords: Pavement concrete; salt sand; cement replacement with fly ash.

TƯƠNG QUAN MÔ ĐUN E_{50} VỚI CƯỜNG ĐỘ KHÁNG NÉN MỘT TRỤC NỞ HÔNG (Q_U) CỦA ĐẤT BỀ MẶT Ở ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG ĐƯỢC CẢI TẠO BẰNG CHẤT KẾT DÍNH VÔ CƠ KẾT HỢP PHỤ GIA DHD

Lê Văn Hiệp[1,*], Nguyễn Đức Mạnh[2,*], Phạm Thái Bình[1], Nguyễn Công Định[2], Võ Minh Khoa[3]

[1]Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

[2]Trường Đại học Giao thông vận tải

[3]Công ty CP Tư vấn đầu tư XD Đông Khang, An Giang

**Tác giả liên hệ: Email: hieplv@utt.edu.vn; nguyenducmanh@utc.edu.vn*

Tóm tắt

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm nhằm xác định mối tương quan giữa mô đun biến dạng tiếp tuyến tại 50% ứng suất lệch cực hạn (E_{50}) (Secant modulus at 50% of the ultimate deviator stress) và cường độ chịu nén một trục không nở hông (q_u) của đất mặt ruộng tại Cần Thơ được cải tạo bằng xi măng kết hợp phụ gia hoạt tính loại DHD. Hàm lượng chất kết dính vô cơ lựa chọn nghiên cứu 1%, 1,5%, 2% kết hợp 0,02%, 0,03% và 0,04% phụ gia DHD được trộn với đất khô, mẫu thử được chế bị ở độ ẩm tốt nhất ở độ chặt K95. Mẫu đất sau khi chế bị được bảo dưỡng trong điều kiện bọc kín bằng màng bọc thực phẩm và bảo dưỡng đến 28 ngày. Nghiên cứu này được thực hiện trên máy nén 1 trục nở hông thông qua quan hệ ứng suất và biến dạng để xác định các giá trị q_u và E_{50}. Theo đó, tương quan giữa E_{50} và q_u được xác định E_{50} = (65,7 -:-163,4) q_u. Kết quả nghiên cứu này, bước đầu cho thấy có thể xác định mô đun E_{50} thông qua giá trị q_u củađất mặt ruộng tại Cần Thơ khi được cải tạo bằng xi măng và phụ gia phục vụ cho các bài toán địa kỹ thuật nói chung.

***Từ khóa**:* Mô đun E_{50}, cường độ kháng nén nở hông, đất mặt ruộng, phụ gia DHD.

1. Đặt vấn đề

Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) là một trong những khu vực có địa hình thấp, nền đất yếu phân bố rộng khắp, trong đó Cần Thơ là trung tâm kinh tế - đô thị quan trọng của vùng. Lớp đất bề mặt (mặt ruộng) phổ biến là bụi dẻo cao, bụi dẻo thấp, sét dẻo cao hoặc dẻo thấp, lẫn hữu cơ với bề dày phổ biến từ 0,5 đến 2,0 m. Theo TCVN 9436 -2012 [1] lớp đất này thuộc loại đất không thích hợp làm nền hay vật liệu đắp, nên thường đào bỏ trong quá trình xây dựng. Cải tạo đất bằng chất kết dính vô cơ kết hợp phụ gia đã được rất nhiều tác giả nghiên cứu, với mục đích thay đổi tính chất cơ lý của đất theo chiều hướng tích cực hơn về mặt chịu tải, ổn định [9, 12-15, 21]. Các nghiên cứu được tiến hành trong phòng thí nghiệm và bước đầu đánh giá hiệu qủa của việc cải tạo đất thông qua cường độ kháng nén nở hông q_u, chỉ số CBR và mô đun E_{50}…

Cường độ chịu nén nở hông q_u được xác định là ứng suất lớn nhất trong đường cong quan hệ giữa ứng suất và biến dạng của thí nghiệm nén một trục nở hông. Trong các bài toán địa kỹ thuật, sức chịu tải của móng nông, sức chịu tải của cọc, hay các bài toán ổn định mái dốc thường gián thiếp sử dụng thông số này thông qua cường độ kháng cắt không thoát nước S_u.

Mô đun E_{50} được định nghĩa là mô đun cắt tuyến xác định trên đường cong ứng suất - biến dạng tại một nửa giá trị của cường độ nén không giới hạn q_u theo Masaki Kitazume và Masaaki Terashi, 2013 [9]. Mô đun E_{50} được sử dụng trong các bài toán tính lún đàn hồi theo phương pháp nền đàn hồi theo Joseph E Bowles và Yingzhong Guo,1996 [5]. Trong bài toán ổn định mái dốc sử dụng phần mềm Plaxis theo phương pháp FEM [10], hay ứng dụng mô hình nền Hardening Soil và Mohr Coulomb trong Plaxis 3D mô phỏng tính toán chuyển vị tường vây [20]. Giá trị của mô đun E_{50} được tính gián tiếp thông qua cường độ nén không nở hông q_u theo Fabien Szymkiewicz và nnk, 2015 [17].

Tương quan giữa mô đun E_{50} và q_u đã được các nghiên cứu trước đây chỉ ra với các loại đất cải tạo bằng xi măng theo phương pháp trộn khô. Terashi và cộng sự (1980) [16] đã đề xuất mối

tương quan E_{50} = (75 đến 1000)*q_u; Baker, (2000) [4] đề xuất rằng E_{50} = (50 đến 180)*q_u; Bruce, (2000) [6] ước tính E_{50} = (65 đến 250)*q_u và E_{50} = (100 đến 500)*q_u. Đối với đất cải tạo xi măng bằng phương pháp trộn ướt, theo các nghiên cứu ở Nhật Bản, giá trị E_{50} của đất sét được lựa chọn là E_{50} = (350 đến 1000)*q_u, theo Masaki & Terashi, (2013) [9], E_{50} = (35 đến 180)*q_u theo tác giả Yin & Lai, (1998) [22], Szymkiewicz và nnk, (2015) [17], đề xuất E_{50} = (120 đến 230)*q_u hoặc E_{50} = 300*q_u được đề xuất bởi Filz và Navin, (2006) [8]. Các nghiên cứu trên đã đề xuất tương quan E_{50} và q_u với nhiều tỷ lệ khác nhau cho đất trộn xi măng ở các khu vực nghiên cứu khác nhau.

Trong nghiên cứu này, mục tiêu chính là thiết lập và kiểm chứng tương quan giữa E_{50} và q_u cho đất mặt ruộng lấy tại xã Thạnh Tiến, Cần Thơ được cải tạo bằng xi măng kết hợp phụ gia hoạt tính DHD. Phụ gia DHD được lựa chọn và sử dụng để cải thiện tính chất của đất với hàm lượng 0,02%, 0,03% và 0,04% cùng với xi măng Nghi Sơn PC40 với hàm lượng 1%, 1,5% và 2% hướng tới việc xây dựng cơ sở dữ liệu về quan hệ giữa 2 tham số quan trọng này phục vụ trong tính toán địa kỹ thuật.

2. Vật liệu và phương pháp thí nghiệm

2.1 Tính chất của đất

Đất mặt được lấy tại xã Thạnh Tiến, Vĩnh Thạnh, Cần Thơ (hình 1). Một số đặc trưng vật lý và thành phần hạt của đất nghiên cứu phân tích theo TCVN hiện hành được trình bày trong Bảng 1.

Hình 1. Vị trí lấy mẫu đất thí nghiệm

Bảng 1. *Một số đặc trưng vật lý của mẫu đất nghiên cứu*

STT	Cỡ sàng	Ký hiệu	Đơn vị	Hàm lượng lọt sàng	STT	Chỉ tiêu	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
1	Thành phần hạt đất (mm)				2	Khối lượng riêng	ρ_s	g/cm^3	2,48
	50,0	P	%	100	3	Giới hạn chảy	W_L	%	65,69
	37,5	P	%	100	4	Giới hạn dẻo	W_P	%	39,46
	25,0	P	%	100	5	Chỉ số dẻo	I_P	%	26,23
	19,0	P	%	100	6	Khối lượng thể tích khô lớn nhất	$\rho^{k\ max}$	g/cm^3	1,392
	9,5	P	%	100	7	Độ ẩm tốt nhất	W_{tn}	%	21,96
	4,75	P	%	100	8	Hàm lượng hữu cơ	H	%	13,09
	2,36	P	%	99,7	9	Độ trương nở	ε	%	8,25
	0,425	P	%	99,2	10	Trị số xuyên CBR (95%)	CBR	%	0,7
	0,075	P	%	98,5	11	Tên đất theo AASHTO	A -7-5 (35) Đất bụi dẻo cao (MH)		

2.2 Xi măng và phụ gia

Trong nghiên cứu này sử dụng xi măng Nghi Sơn PC40 hàm lượng 1%, 1,5% và 2% theo khối lượng đất khô có thành phần hóa học như Bảng 2.

Bảng 2. *Thành phần hóa học của xi măng Nghi Sơn PC40 theo công bố của nhà sản xuất*

Loại xi măng	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	LOI
PC40	20,26	4,81	3,15	63,72	1,94	2,4	0,09	0,65	2,5

Phụ gia DHD được phát triển tại Việt Nam, tạo ra bằng phương pháp tổ hợp nhiều polyme tự nhiên gốc thực vật với các khoáng nano, có các mạch vòng được gắn các gốc SO_3. Khi hóa chất này được trộn vào đất, các gốc SO_3 sẽ trung hòa các gốc OH^-, phần nước được phân ly hút bám tạo lớp màng nước hấp phụ (kết hợp mạnh, kết hợp yếu) trên bề mặt hạt đất, mà ở đây chủ yếu là hạt sét (<0,005mm), khi đó làm cho các hạt sét không còn bị phân cực điện hóa theo [11]. Hóa chất hóa rắn đất dòng DHD được viện Hàn lâm KHCN Việt Nam công bố gồm, DHD-101 khuyến cáo sử dụng cho đất đồi loại sét, DHD -102 dùng cho cát biển nhiễm mặn, và DHD - 103 có thể sử dụng cho đất lẫn hữu cơ. Theo đó, khi dùng phụ gia DHD, chẳng hạn DHD-103 kết hợp xi măng, các ion của các nguyên tố kim loại như Si và Al sẽ được liên kết với nhau trong các mạch vòng thành một chuỗi polyme vô cơ. Khi tác động lực nén lên, các mạch polyme vô cơ liên kết với nhau, đất dễ được làm chặt và giảm lỗ rỗng giữa các hạt đất, có thể tăng độ bền cơ học giảm tính biến dạng. Hàm lượng chất phụ gia dùng trong nghiên cứu 0,02%; 0,03% và 0,04% theo khối lượng đất khô.

2.3 Chế bị mẫu thử và bảo dưỡng

Quy trình trộn đất với xi măng và phụ gia, đúc mẫu và thí nghiệm được thực hiện theo TCVN 9403:2012 [19], ASTM D2166 [2]. Đất nghiên cứu khi đưa về phòng thí nghiệm được phơi khô, nghiền nhỏ sau đó trộn với xi măng và lượng nước cần thiết để đất đạt đến độ ẩm tốt nhất. Các mẫu đất được chế bị dạng hình trụ có đường kính d =38mm chiều cao h=76mm. Sau khi đúc xong mẫu được tháo khuôn bảo dưỡng trong điều kiện bọc kín ở độ ẩm tốt nhất và nhiệt độ phòng từ 25 -30^{0}C như Hình 2.

Hình 2. Chế bị và bảo dưỡng mẫu

2.3 Thí nghiệm nén nở hông

Mẫu chế bị sau khi bảo dưỡng đủ ngày tuổi được lấy ra thí nghiệm trên máy nén một trục nở hông. Quy trình thí nghiệm được thực hiện theo TCVN 9438:2012 [18] và ASTM D2166 [2], với tốc độ gia tải 10% đường kính của mẫu cho đến khi mẫu bị phá hủy.

Để xây dựng hàm hồi quy bậc 2 có xét đến ảnh hưởng của các yếu tố đầu vào là xi măng và phụ gia, nhóm nghiên cứu đã lựa chọn phương pháp quy hoạch thực nghiệm bề mặt phản ứng (CCD) với tâm quay α = 1. Với hai ẩn đầu vào và mỗi ẩn có 3 mức thì ma trận thực nghiệm được thiết kế theo CCD số lượng mẫu cho 13 tổ hợp với 3 lần lặp là 39 mẫu. Mẫu nghiên cứu được tiến hành thí nghiệm nén ở tuổi 28 ngày kể từ ngày chế bị.

2.4 Phương pháp xác định q_u và E_{50}

Cường độ kháng nén một trục q_u - ứng suất nén lớn nhất mà tại đó mẫu bị phá. Ứng suất nén mẫu σ được xác định theo TCVN 9438:2012 [18] như sau:

$$\sigma = \frac{P}{A} \tag{1}$$

Trong đó:

P - tải trọng tác dụng lên mẫu, kN;

A - diện tích mặt cắt ngang trung bình của mẫu dưới tác dụng của tải trọng nén, m^2.

$$A = \frac{A_0}{1-\varepsilon} \tag{2}$$

Trong đó:

A_0 - diện tích mặt cắt ngang mẫu ban đầu, m^2;

ε - biến dạng tương đối dọc trục mẫu, %, được xác định theo công thức 3 như sau:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \tag{3}$$

Trong đó:

ΔL - biến dạng chiều dài của mẫu, mm;

L_0 - chiều cao ban đầu của mẫu, mm.

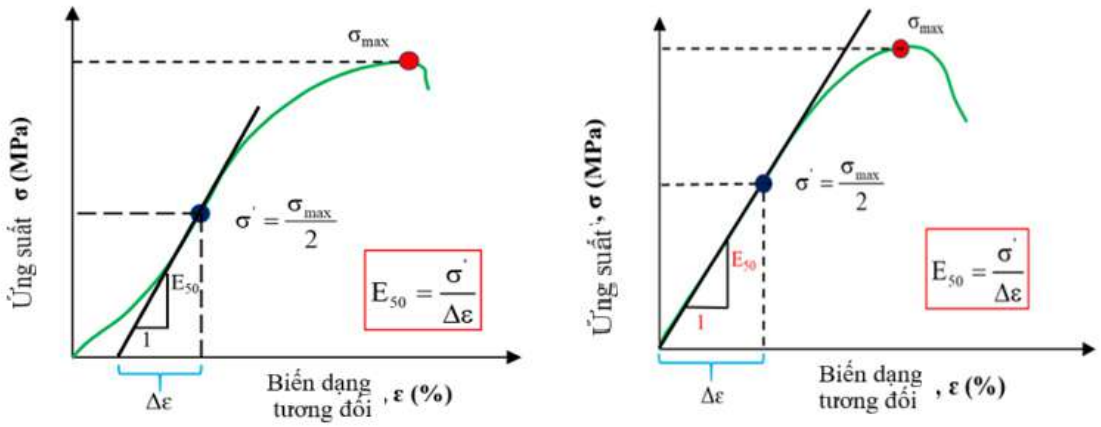
Mô đun E_{50} được định nghĩa là mô đun cắt tuyến xác định trên đường cong ứng suất - biến dạng tại một nửa giá trị của cường độ nén không giới hạn q_u [9]. Đây là giá trị đặc trưng cho khả năng của vật liệu chống lại biến dạng đàn hồi khi chịu tác dụng của ứng suất theo phương dọc trục. Giá trị của E_{50} thể hiện độ cứng của vật liệu trong giai đoạn đàn hồi. Theo Alexandra A. Egorova và nnk, 2017 [7] và ASTM D3148-02 [3] trong giai đoạn đầu của thí nghiệm nén nở hông, mối quan hệ giữa ứng suất và biến dạng gần như tuyến tính. Do vậy, có thể sử dụng phép xấp xỉ tuyến tính giữa hai điểm để xác định E_{50} theo công thức 4 và Hình 3.

$$E_0 = \frac{\sigma'}{\Delta\varepsilon} \tag{4}$$

Trong đó:

σ' - ứng suất tại mức 50% của cường độ cực đại q_u, kPa;

Δε - độ chênh lệch biến dạng dọc trục ứng với hai điểm đó, %.

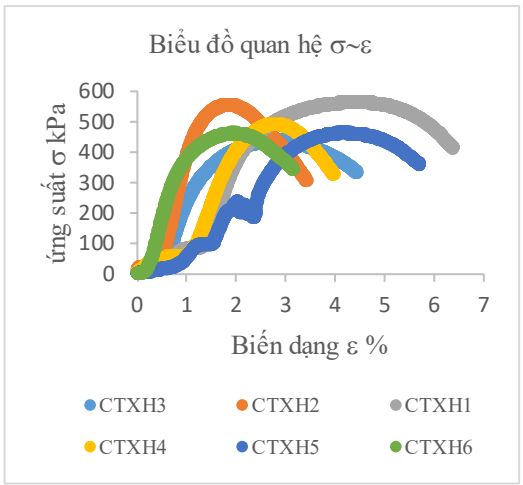


Hình 3. Xác định E_{50} từ đường cong ứng suất biến dạng dọc trục

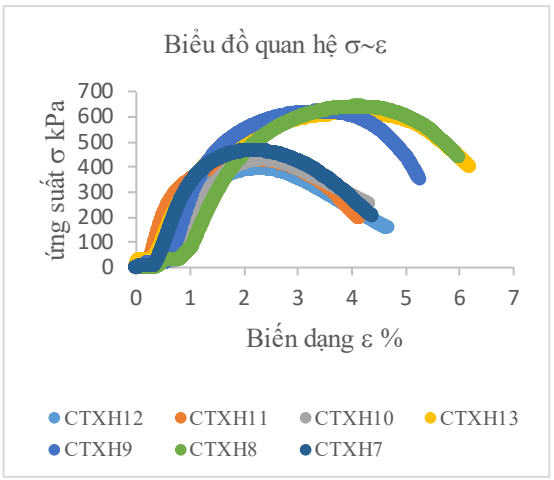
3. Kết quả thí nghiệm

3.1 Biểu đồ ứng suất và biến dạng

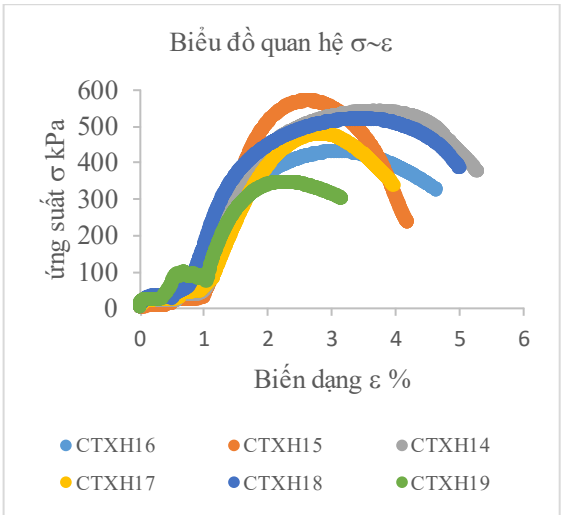
Đường cong ứng suất biến dạng của 39 mẫu thí nghiệm với tuổi bảo dưỡng 28 ngày được thể hiện như Hình 4.



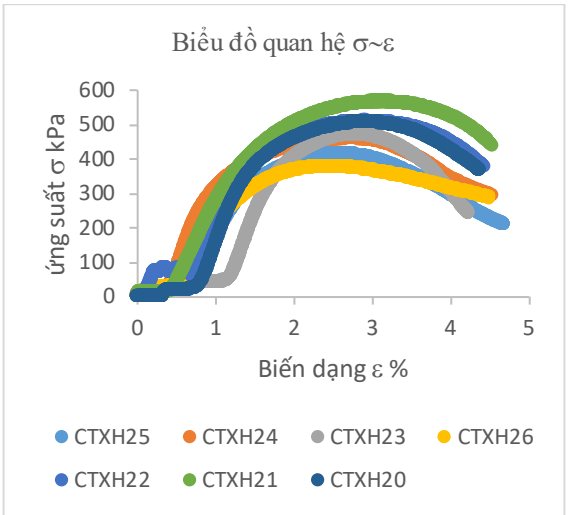
(a)



(b)

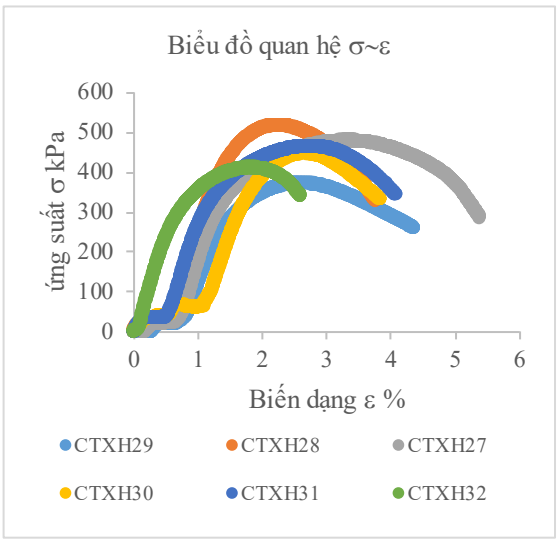


(c)

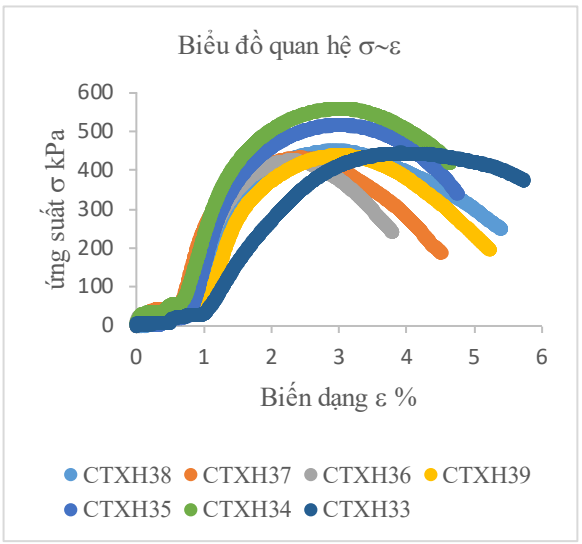


(d)

Hình 4. Biểu đồ ứng suất và biến dạng của 39 mẫu thí nghiệm



(e)



(f)

Hình 4. Biểu đồ ứng suất và biến dạng của 39 mẫu thí nghiệm (tiếp)

Từ các kết quả trên nhận thấy rằng, các đường cong quan hệ ứng suất σ và biến dạng ε có giai đoạn đàn hồi - dẻo rõ ràng, sau khi đạt giá trị cực đại ứng suất giảm. Ứng suất đỉnh dao động từ 350 kPa đến 620 kPa tùy thuộc từng tỷ lệ phối trộn của xi măng và phụ gia. Biến dạng ở mức ứng suất đỉnh thay đổi từ 1,5% đến 4,5 %. Sau khi đạt ứng suất đỉnh hầu như các mẫu đều duy trì ứng suất dẻo, một số ít giảm nhanh (phá hoại giòn). Nguyên nhân của sự khác biệt là do hàm lượng chất kết dính vô cơ và hàm lượng phụ gia khác nhau.

3.2 Kết quả thí nghiệm

Cường độ kháng nén một trục nở hông q_u được xác định tại vị trí cao nhất trên đường cong quan hệ σ ~ ε. Các giá trị q_u; E_{50} được trình bày trong Bảng 3.

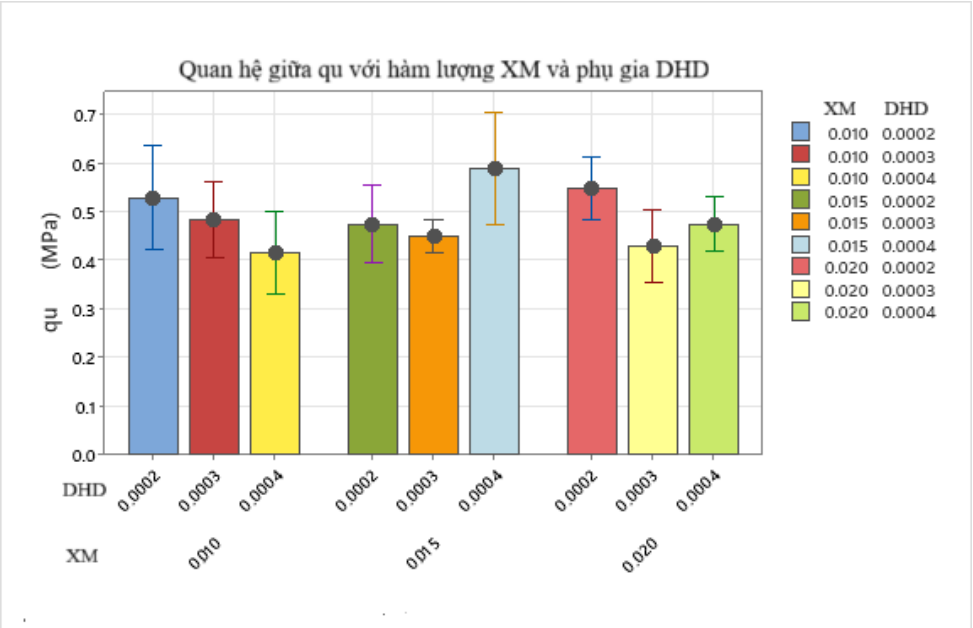
Bảng 3. *Ma trận thực nghiệm và kết quả q_u, E_{50}*

STT	Ký hiệu mẫu	Tỷ lệ %		Kết quả thí nghiệm 28 ngày		Ghi chú
		Xi măng	Phụ gia	q_u (MPa)	E_{50} (MPa)	
1	CTXH1	1,0	0,02	0,57	42,61	
2	CTXH2	2,0	0,02	0,56	71,23	
3	CTXH3	1,0	0,04	0,44	50,16	
4	CTXH4	2,0	0,04	0,49	45,28	
5	CTXH5	1,0	0,03	0,47	44,95	
6	CTXH6	2,0	0,03	0,46	59,84	
7	CTXH7	1,5	0,02	0,47	52,81	
8	CTXH8	1,5	0,04	0,64	42,22	
9	CTXH9	1,5	0,03	0,62	62,95	
10	CTXH10	1,5	0,03	0,43	54,13	
11	CTXH11	1,5	0,03	0,43	70,47	
12	CTXH12	1,5	0,03	0,40	50,88	
13	CTXH13	1,5	0,03	0,38	43,07	
14	CTXH14	1,0	0,02	0,54	67,61	
15	CTXH15	2,0	0,02	0,57	62,46	

16	CTXH16	1,0	0,04	0,43	46,30	
17	CTXH17	2,0	0,04	0,48	43,32	
18	CTXH18	1,0	0,03	0,52	51,97	
19	CTXH19	2,0	0,03	0,41	51,89	
20	CTXH20	1,5	0,02	0,51	61,21	
21	CTXH21	1,5	0,04	0,57	48,18	
22	CTXH22	1,5	0,03	0,51	59,96	
23	CTXH23	1,5	0,03	0,47	59,00	
24	CTXH24	1,5	0,03	0,46	57,27	
25	CTXH25	1,5	0,03	0,42	44,42	
26	CTXH26	1,5	0,03	0,38	34,28	
27	CTXH27	1,0	0,02	0,48	48,85	
28	CTXH28	2,0	0,02	0,52	62,53	
29	CTXH29	1,0	0,04	0,38	41,24	
30	CTXH30	2,0	0,04	0,45	43,61	
31	CTXH31	1,0	0,03	0,46	37,94	
32	CTXH32	2,0	0,03	0,41	60,52	
33	CTXH33	1,5	0,02	0,44	26,06	
34	CTXH34	1,5	0,04	0,56	56,32	
35	CTXH35	1,5	0,03	0,52	68,67	
36	CTXH36	1,5	0,03	0,43	53,02	
37	CTXH37	1,5	0,03	0,43	64,53	
38	CTXH38	1,5	0,03	0,45	54,03	
39	CTXH39	1,5	0,03	0,44	48,06	

3.3 Phân tích số liệu

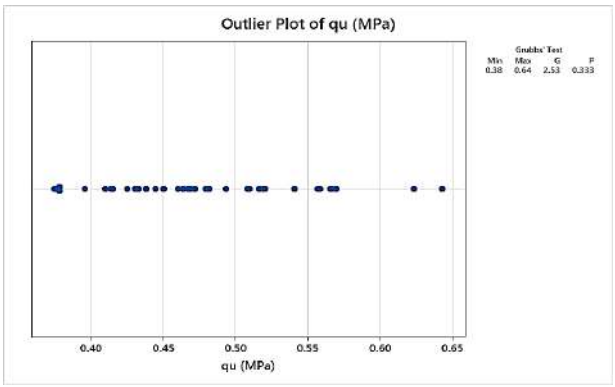
Từ bảng 3 có biểu đồ quan hệ giữa q_u với hàm lượng xi măng và phụ gia DHD như Hình 5.



Hình 5. Sự thay đổi q_u theo hàm lượng xi măng và phụ gia

Từ hình 5 thấy rằng với hàm lượng xi măng 1% và DHD tăng từ 0,02% đến 0,04% giá trị q_u giảm dần. Khi hàm lượng xi măng tăng lên 1,5% giá trị q_u lớn nhất tại hàm lượng DHD là 0,04%. Với hàm lượng xi măng 2% giá trị q_u dao động không ổn định. Từ kết quả nghiên cứu này thấy rằng với đất mặt có hàm lượng hữu cơ 13,09% thì cường độ kháng nén q_u không tăng tuyến tính theo hàm lượng xi măng hay hàm lượng phụ gia DHD.

Kiểm tra giá trị ngoại lai q_u, E_{50} sử dụng lý thuyết Grubbs'Test trong phần mềm Minitab được kết quả như Hình 6 và Hình 7.



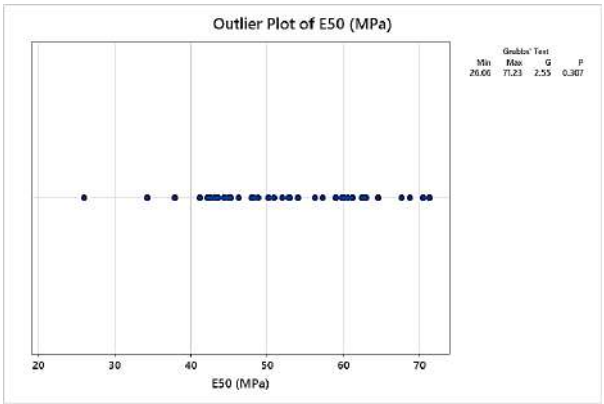
Method

Null hypothesis	All data values come from the same normal population
Alternative hypothesis	Smallest or largest data value is an outlier
Significance level	α = 0.05

Grubbs' Test

Variable	N	Mean	StDev	Min	Max	G	P
qu (MPa)	39	0.4767	0.0656	0.3753	0.6426	2.53	0.333

Hình 6. Kết quả kiểm tra giá trị ngoại lai q_u



Method

Null hypothesis	All data values come from the same normal population
Alternative hypothesis	Smallest or largest data value is an outlier
Significance level	α = 0.05

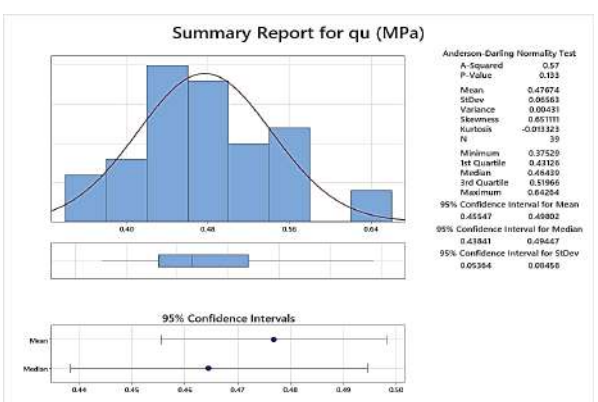
Grubbs' Test

Variable	N	Mean	StDev	Min	Max	G	P
E50 (MPa)	39	52.41	10.32	26.06	71.23	2.55	0.307

Hình 7. Kết quả kiểm tra giá trị ngoại lai E_{50}

Trong Hình 8 và Hình 9 nhận thấy P -value lần lượt là 0,333 và 0,307 các giá trị này đều lớn hơn 0,05. Do vậy, kiểm định Grubbs cho thấy không có bằng chứng thống kê để xác định sự tồn tại của giá trị ngoại lai trong tập dữ liệu. Điều này cho thấy dữ liệu phân bố khá đều, không có điểm quá chênh lệch so với phần còn lại.

Kiểm tra phân phối chuẩn của q_u và E_{50} bằng phần mềm minitab được thể hiện trên Hình 9.

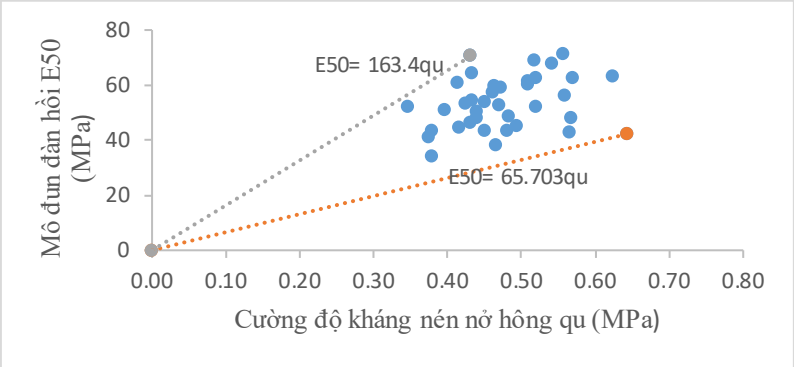


Hình 8. Kết quả kiểm tra phân phối chuẩn của q_u và E_{50}

Từ Hình 8 cho thấy Boxplot không xuất hiện điểm ngoại lai, biểu đồ khoảng tin cậy (CI) của Mean và Median có sự chồng lấn lớn, phù hợp với giả thuyết dữ liệu phân bố chuẩn và đồng nhất. Dữ liệu q_u và E_{50} có phân bố gần chuẩn, độ biến thiên thấp, không xuất hiện ngoại lai rõ rệt và có độ tin cậy cao để dùng cho các phân tích thống kê.

4. Kết quả và thảo luận

Trong nghiên cứu với hàm lượng xi măng thay đổi từ 1% đến 2% cùng với hàm lượng phụ gia DHD thay đổi từ 0,02% đến 0,04%. Kết quả phân tích thấy rằng E_{50} = (65,70 -:-163,4) q_u, Hình 9.



Hình 9. Quan hệ giữa q_u ~ E_{50}

So với khuyến cáo trong TCVN 9403:2012 [19] lấy E_{50} = (25-:-50)q_u là quá nhỏ. Giá trị trong nghiên cứu phù hợp với đề xuất của Baker, (2000) [4], E_{50} = (50 đến 180)*q_u; Bruce, (2000) [6] ước tính E_{50} = (65 đến 250)*q_u và E_{50} = (35 đến 180)*q_u theo tác giả Yin & Lai, (1998) [22],

5. Kết luận và kiến nghị

Trong các nghiên cứu được đã được công bố tương quan giữa E_{50} và q_u có phân bố rất rộng từ 50 đến 1000 lần, ngược lại với TCVN 9403:2012 khoảng biến thiên trên lại quá thấp, điều này khiến việc áp dụng E_{50} trong tính toán thực tế có khoảng biến thiên lớn, khó tìm điểm tin cậy phù hợp.

Kết quả nghiên cứu thực nghiệm với đất bề mặt ở Cần Thơ được cải tạo bằng xi măng kết hợp phụ gia DHD bước đầu cho thấy cường độ kháng nén 1 trục nở hông của đất q_u và mô đun E_{50} tăng đáng kể, từ 25,27% - 68,08% tương ứng các tỷ lệ xi măng từ 1-2% và phụ gia từ 0,02 - 0,03 - 0,04%.

Kết quả nghiên cứu với đất bề mặt ở khu vực Cần Thơ được cải tạo bằng xi măng kết hợp phụ gia DHD cho phép đề xuất được tương quan E_{50} = (65,70 -:-163,4) q_u.

Kết quả nghiên cứu này cũng như theo TCVN 9403 hiện hành và các nghiên cứu khác cho thấy, với khoảng biến thiên lớn trong tương quan E_{50} với q_u của đất hay đất khi được cải tạo, việc tiếp tục nghiên cứu cho nhiều loại đất khác nhau, hướng tới việc xây dựng cơ sở dữ liệu về quan hệ giữa 2 tham số quan trọng này phục vụ trong tính toán địa kỹ thuật là cần thiết và quan trọng.

Tài liệu tham khảo

TCVN 9436 : 2012 (2012), "Nền đường ô tô - Thi công và nghiệm thu", *Bộ Giao thông vận tải*.

D 2166-00 ASTM (2000), "Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil.", *West Conshohocken, PA*.

D 3148-02 ASTM (1993), " Standard Test Method for Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens in Uniaxial Compression", *International: West Conshohocken, PA, USA*.

Sadek Baker (2000), "Rapport 7 Deformation Behaviour of Lime/Cement Column Stabilized Clay".

Joseph E Bowles và Yingzhong Guo (1996), *Foundation analysis and design*, Vol. 5, McGraw-hill New York.

Donald A Bruce và ECO Geosystems (2000), *An introduction to the deep soil mixing methods as used in geotechnical applications*, United States. Federal Highway Administration. Office of Infrastructure

Alexandra A. Egorova và và nnk (2017), Basic aspects of deep soil mixing technology control, *IOP conference series: materials science and engineering*, IOP Publishing, tr. 022019.

George M Filz và Michael P Navin (2006), *Stability of column-supported embankments*, Virginia Center for Transportation Innovation and Research.

Masaki Kitazume và Masaaki Terashi (2013), *The deep mixing method*, Vol. 21, CRC press London.

Châu Trường Linh và Nguyễn Thanh Tạp chí Khoa học và Công nghệ-Đại học Đà Nẵng Quang (2021), "Phân tích ổn định mái dốc nền đường bằng phương pháp cân bằng giới hạn và phần tử hữu hạn theo tiêu chuẩn AASHTO-LRFD", tr. 69-74.

Phan Minh (2018), "Công nghệ hóa cứng đất bằng dung dịch hóa đá DHD 101", *VTC NEWS*

FI Shalabi và nnk (2019), "Cement-stabilized waste sand as sustainable construction materials for foundations and highway roads". 12(4), tr. 600.

Nguyễn Văn Long và nnk (2021), "Nghiên cứu cải thiện hỗn hợp đất tại chỗ và phế thải tro bay bằng xi măng kết hợp phụ gia DZ33 làm móng đường giao thông nông thôn tại khu vực ĐBSCL", *Journal of Transportation Science and Technology*.

SA Saleh và nnk (2020), "Effect of soil stabilization on subgrade soil using cement, lime and fly ash". 6(2), tr. 39-52.

M Terashi - Report of the Port và Harbour Research Institute (1977), "Fundamental properties of lime-treated soils (1st Report)". 16(1), tr. 3-28.

M Terashi - Report of the Port và Harbour Research Institute (1980), "Fundamental properties of lime and cement treated soils (2nd report)". 19(1), tr. 33-57.

Fabien Szymkiewicz và và nnk (2015), Assessment of strength and other mechanical properties of the deep mixing material, *DFI Deep Mixing Conference 2015*, tr. 10 p.

TCVN9438 (2012), "Đất xây dựng- Phương pháp xác định độ bền nén một trục nở hông", *Bộ Khoa học và Công nghệ*.

TCVN-9403 (2012), "Gia cố nền đất yếu - Phương pháp trụ đất xi măng", *Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng - Bộ Xây dựng*.

Nguyễn Ngọc Thắng và Thịnh Văn Thanh Tạp chí KHCN Xây dựng Thanh (2023), "Ứng dụng mô hình nền Hardening Soil và Mohr Coulomb trong Plaxis 3D mô phỏng tính toán chuyển vị tường vây".

Văn Thu Trần (2021), "Nghiên cứu gia cố cấu trúc đất bùn sét theo công nghệ geopolymer để cải tạo nền đất yếu".

Jianhua Yin và CK. Lai-Geotechnical Engineering (1998), "Strength and stiffness of Hong Kong marine deposits mixed with cement". 29(1), tr. 29-44.

Correlation between e50 modulus and unconfined compressive strength (qu) of surface soil in the mekong delta improved with inorganic binder and dhd additive

Le Van Hiep[1], Nguyen Duc Manh[2], Pham Thai Binh[1], Nguyen Cong Dinh[2], Vo Minh Khoa[3]
[1]University of Transport Technology
[2]University of Transport and Communications
[3]Dong Khang Construction Investment Consulting JSC, An Giang
**Corresponding authors: Email: hieplv@utt.edu.vn; nguyenducmanh@utc.edu.vn*

Abstract

This paper presents the results of an experimental study aimed at determining the correlation between the secant modulus at 50% of the ultimate deviator stress (E_{50}) and the unconfined compressive strength (qu) of surface soil in Can Tho improved with cement combined with DHD additive. The study considered inorganic binder contents of 1%, 1.5%, and 2% together with DHD

additive contents of 0.02%, 0.03%, and 0.04%. The dry soil was mixed and compacted at the optimum moisture content with a compaction degree of K95. The specimens were sealed with plastic film and cured for 28 days.

The tests were performed using an unconfined compression apparatus, from which the stress–strain relationship was used to determine qu and E_{50} values. The correlation between E_{50} and qu was found to be E_{50} = (65.7 – 163.4) qu. The results indicate that the E_{50} modulus of the surface soil in Can Tho, when improved with cement and DHD additive, can be estimated from its qu value, contributing to geotechnical analysis and design applications.

Keywords: E_{50} modulus, unconfined compressive strength, surface soil, DHD additive

ĐÁNH GIÁ HIỆN TRẠNG, ĐIỀU KIỆN VÀ NGUYÊN NHÂN LÚN MẶT ĐẤT TẠI THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH, TP. CẦN THƠ, CÀ MAU (ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG)

Đào Hồng Hải[1,2,*] , Nguyễn Việt Kỳ[1,2], Lâm Hoàng Quốc Việt[3], Phạm Xuân Đức[1]

[1]Trường Đại học Bách Khoa TP. Hồ Chí Minh

[2] Đại học Quốc gia Tp. Hồ Chí Minh

[3] Trung tâm hạt nhân Thành phố Hồ Chí Minh

**Tác giả liên hệ: Email: dhhai@hcmut.edu.vn*

Tóm tắt

Hiện tượng lún mặt đất đang diễn ra nghiêm trọng tại nhiều khu vực thuộc Đồng bằng sông Cửu Long, đặc biệt là tại các đô thị lớn như TP. Hồ Chí Minh, Tp. Cần Thơ và Cà Mau. Nghiên cứu này nhằm đánh giá hiện trạng, điều kiện và các nguyên nhân gây ra hiện tượng lún bề mặt tại các đô thị tiêu biểu nêu trên. Phạm vi nghiên cứu tập trung vào phân tích đặc điểm địa chất - thủy văn, mức độ khai thác nước dưới đất, tốc độ đô thị hóa và sự biến đổi khí hậu khu vực. Phương pháp nghiên cứu bao gồm: tổng hợp tài liệu chuyên ngành, phân tích số liệu quan trắc lún (từ thủy chuẩn, thiết bị nhện từ, ảnh vệ tinh InSAR), mô hình hóa lún bằng phần mềm MODFLOW và tích hợp phân vùng nguy cơ lún bằng công cụ GIS. Kết quả cho thấy tốc độ lún tại một số khu vực đạt từ 2-5 cm/năm, thậm chí có nơi vượt 8-10 cm/năm, cao hơn nhiều so với tốc độ nước biển dâng. Các nguyên nhân chính bao gồm: cố kết tự nhiên của lớp đất yếu Holocen, khai thác nước ngầm quá mức và tải trọng từ phát triển đô thị. Bản đồ phân vùng nguy cơ lún được đề xuất nhằm phục vụ công tác cảnh báo và quy hoạch đô thị bền vững trong điều kiện biến đổi khí hậu ngày càng phức tạp.

Từ khóa: Lún mặt đất, Đồng bằng Sông Cửu Long, Khai thác nước ngầm, sự cố kết trầm tích Holocen, Lún đất đô thị.

1. Đặt vấn đề

Trong những năm gần đây, khu vực Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) đang phải đối mặt với nhiều thách thức nghiêm trọng do tác động của biến đổi khí hậu và nước biển dâng. Trong đó, hiện tượng sụt lún mặt đất là một vấn đề nổi cộm, gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến đời sống dân sinh, phát triển kinh tế và hạ tầng kỹ thuật ở nhiều đô thị lớn như TP. Hồ Chí Minh, Tp. Cần Thơ và Cà Mau. Sụt lún đất không chỉ gây ra sạt lở bờ sông, bờ biển vào mùa khô mà còn khiến nhiều đô thị bị ngập úng nghiêm trọng vào mùa mưa. Đáng lưu ý, tốc độ lún mặt đất ở khu vực ĐBSCL đang có xu hướng gia tăng nhanh hơn so với tốc độ dâng mực nước biển, cho thấy rằng lún đất đang trở thành nguyên nhân chính làm hạ thấp nền địa hình khu vực này (Minderhoud và nnk., 2017; Olson, 2022).

Nhiều nghiên cứu gần đây đã chỉ ra rằng, lún mặt đất tại ĐBSCL là kết quả tổng hợp của nhiều yếu tố, trong đó nổi bật là các hoạt động khai thác nước dưới đất quá mức, hiện tượng cố kết tự nhiên của lớp đất yếu, sự thiếu hụt trầm tích từ thượng nguồn do xây dựng đập chắn, và tải trọng ngày càng gia tăng do phát triển đô thị. Ngoài ra, hoạt động tân kiến tạo và đặc điểm trầm tích trẻ, lỏng lẻo của khu vực cũng góp phần làm gia tăng mức độ lún bề mặt.

Trước thực trạng đó, các cơ quan chuyên môn trong và ngoài nước đã tiến hành nhiều nghiên cứu, đánh giá hiện trạng lún, xác định nguyên nhân và đưa ra dự báo về xu hướng phát triển hiện tượng này thông qua nhiều phương pháp khác nhau như đo thủy chuẩn, phân tích ảnh vệ tinh InSAR, quan trắc lún sâu - lún nông, phân tích địa chất và mô hình hóa. Tuy nhiên, việc tổng hợp, phân tích toàn diện các yếu tố tự nhiên và nhân sinh tác động đến hiện tượng lún mặt đất vẫn còn hạn chế, đặc biệt là ở quy mô đô thị cụ thể.

Xuất phát từ yêu cầu cấp thiết đó, nghiên cứu này tập trung đánh giá hiện trạng lún mặt đất, điều kiện địa chất - thủy văn đặc thù cũng như phân tích nguyên nhân chính gây lún tại ba đô thị

tiêu biểu ở ĐBSCL gồm TP. Hồ Chí Minh, Tp. Cần Thơ và Cà Mau. Kết quả nghiên cứu sẽ góp phần làm rõ hơn bản chất cơ học - địa chất của hiện tượng lún, từ đó đề xuất các định hướng phù hợp nhằm giảm thiểu rủi ro và tổn thất do sụt lún gây ra trong điều kiện phát triển đô thị và biến đổi khí hậu ngày càng diễn biến phức tạp.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

2.1 Cơ sở lý thuyết về hiện tượng lún mặt đất

Lún mặt đất là hiện tượng hạ thấp cao độ bề mặt địa hình theo phương thẳng đứng, xảy ra do nhiều nguyên nhân tự nhiên và nhân tạo. Trong điều kiện địa chất đặc thù như vùng Đồng bằng sông Cửu Long, lún mặt đất chủ yếu xảy ra do: (i) Quá trình cố kết tự nhiên của các lớp đất yếu, (ii) Khai thác nước dưới đất quá mức, (iii) Sự gia tăng tải trọng tĩnh từ công trình xây dựng và phát triển đô thị, và (iv) Các tác động kiến tạo địa chất hiện đại.

Về mặt cơ học đất, hiện tượng lún xảy ra khi các hạt đất tái sắp xếp cấu trúc dưới tác động của tải trọng hoặc khi giảm áp suất nước lỗ rỗng dẫn đến gia tăng ứng suất có hiệu. Trong điều kiện khai thác nước dưới đất, khi mực nước hạ thấp, các tầng đất chứa nước sẽ mất dần độ bão hòa, gây nên hiện tượng tự cố kết (Olson, 2022). Tầng đất có hệ số rỗng lớn, độ bão hòa cao và hệ số nén lún cao sẽ dễ bị lún hơn so với các tầng đất chặt, già hơn.

Ngoài ra, các hoạt động bóc mòn - bồi tụ tự nhiên, hoạt động kiến tạo (như nâng - hạ mảng địa chất) và các hiện tượng biến đổi thể tích đất do thay đổi độ ẩm (co ngót đất sét) cũng được xem là những yếu tố quan trọng trong cơ chế gây lún (Dunn và Minderhoud, 2022). Các lý thuyết cơ bản về lún cố kết theo Terzaghi (1943) và các mô hình lún đàn hồi - dẻo thường được sử dụng để mô phỏng lún do tải trọng và hút nước.

2.2 Tổng quan các nghiên cứu trước liên quan đến lún mặt đất tại ĐBSCL

Trong nhiều năm qua, hiện tượng lún mặt đất tại ĐBSCL đã được các tổ chức nghiên cứu quốc tế và trong nước quan tâm sâu sắc. Minderhoud et al. (2017) cho thấy tác động của việc khai thác nước ngầm kéo dài hơn 25 năm là nguyên nhân chính gây lún nghiêm trọng tại nhiều khu vực ở đồng bằng. Olson (2022) nhấn mạnh vai trò của cố kết đất yếu Holocen và sự thiếu hụt trầm tích do đập thượng nguồn gây ra. Dunn và Minderhoud (2022) đề xuất các giải pháp phục hồi dựa trên bồi tích, song cho rằng hiệu quả chỉ mang tính cục bộ.

Các nghiên cứu trong nước như SIWRR (2013) và dự án WISDOM (GIZ) đã xây dựng cơ sở dữ liệu nền về lún, nhưng mới dừng ở mức độ mô tả. Guzy et al. (2023) gần đây đã sử dụng mô hình MODFLOW để hiệu chỉnh các kịch bản lún tại ĐBSCL với hệ số đàn hồi khác nhau. Nhìn chung, các nghiên cứu đều thống nhất rằng việc tích hợp dữ liệu đa nguồn và mô hình hóa là hướng đi hiệu quả để đánh giá tổng thể hiện tượng này.

2.3 Phương pháp nghiên cứu

2.3.1 Phương pháp tổng hợp và phân tích tài liệu

Nghiên cứu sử dụng phương pháp tổng hợp tài liệu thứ cấp từ các báo cáo khoa học, kết quả quan trắc, bản đồ địa chất, bản đồ địa hình và tài liệu từ các cơ quan chức năng như Sở Tài nguyên và Môi trường, Trung tâm Quy hoạch và Điều tra tài nguyên nước quốc gia, JICA, GIZ, cùng một số nghiên cứu trong nước và quốc tế. Việc tổng hợp giúp làm rõ hiện trạng lún, điều kiện tự nhiên và đặc điểm địa chất - thủy văn tại ba đô thị: TP. Hồ Chí Minh, Tp. Cần Thơ và Cà Mau.

2.3.2 Phương pháp quan trắc và xử lý số liệu lún

Các dữ liệu quan trắc lún được lấy từ nhiều nguồn như: kết quả đo lún thủy chuẩn (Cục Đo đạc Bản đồ), quan trắc lún sâu (bằng nhện từ), đo ảnh vệ tinh (InSAR), số liệu mực nước dưới đất tại các trạm quan trắc thủy văn. Một số trạm được ghi nhận thời gian dài từ năm 2010-2018. Dữ liệu được xử lý thống kê để tính tốc độ lún trung bình năm tại từng vị trí và so sánh giữa các đô thị. (De Wit và nnk., 2021).

2.3.3 Phương pháp mô hình hóa lún do khai thác nước ngầm

Mô hình tính lún sử dụng các phương trình lý thuyết được xây dựng bởi Lohman (1961) và được cập nhật trong phần mềm MODFLOW (Guzy và nnk., 2023). Các tham số đầu vào gồm: hệ số nén lún đàn hồi (Sske), không đàn hồi (Sskv), hệ số nhả nước, hệ số thấm, độ sâu tầng chứa nước và lưu lượng khai thác. Mô hình được thiết lập với ba kịch bản khác nhau nhằm đánh giá độ nhạy của các yếu tố ảnh hưởng đến tốc độ và mức độ lún tích lũy sau 20 năm.

Công thức dự báo lún được áp dụng ở đây là công thức Lohman (1961):

$$\Delta b = P\left(\frac{s}{g} - nmB\right)$$

Trong đó: P - mực áp lực do khai thác gây ra;

S - Hệ số nhả nước;

G - Tỷ trọng của nước;

n- Độ lỗ rỗng;

B - Hệ số nén của nước ($4{,}74*10^{-5}$ cm^2/kg);

m - Chiều dày tầng chứa nước.

2.3.4 Phương pháp phân tích địa hình - địa chất - đô thị hóa

Đặc điểm địa hình, phân bố lớp đất yếu (trầm tích Holocen), mật độ đô thị và các khu vực tập trung giếng khoan được phân tích chồng lớp trong môi trường GIS để xác định mối tương quan giữa tốc độ lún và các yếu tố địa chất, thủy văn, nhân sinh. Phương pháp này cho phép xác định các vùng nguy cơ lún cao, từ đó đề xuất bản đồ phân vùng sụt lún.

3. Kết quả và thảo luận

3.1 Hiện trạng lún mặt đất tại khu vực nghiên cứu

3.1.1 Thành phố Hồ Chí Minh

Thành phố Hồ Chí Minh có tốc độ đô thị hóa cao nhất cả nước, với tải trọng xây dựng lớn tập trung ở các khu vực như Thủ Thiêm, Tân Cảng, Bình Tân, Quận 12. Quan trắc bằng thiết bị nhện từ cho thấy Thủ Thiêm lún đến 89 mm/năm (gần 10 cm/năm). Mức lún này phản ánh ảnh hưởng kết hợp của nền đất yếu và tải trọng nhân sinh.

3.1.2 Thành phố Cần Thơ

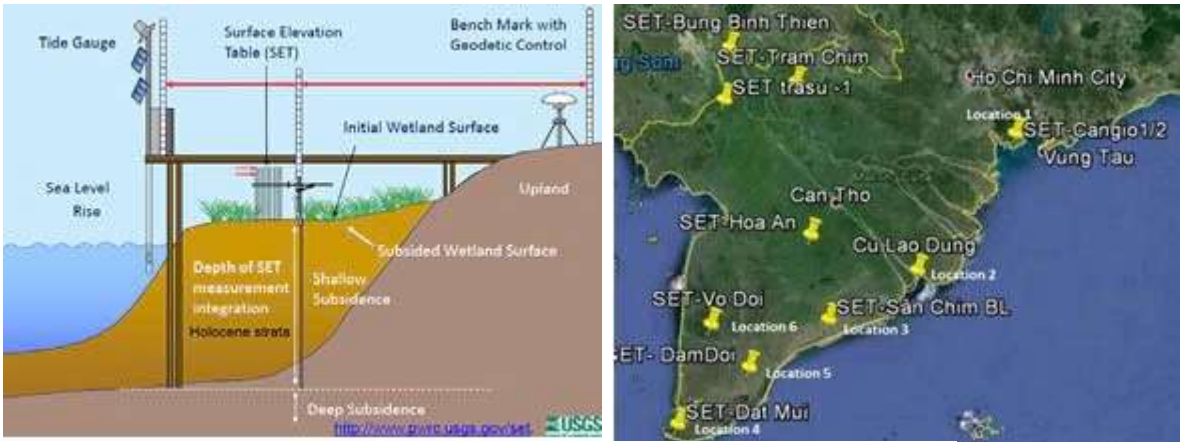
Tp. Cần Thơ có địa hình thấp và hệ thống sông ngòi dày đặc. Kết quả quan trắc tại Cù Lao Dung cho thấy mức lún lên đến 28,8 mm/năm, trong khi tại các khu vực nội ô mức lún dao động từ 5-15 mm/năm. Việc phát triển hạ tầng giao thông, xây dựng khu dân cư ven sông góp phần gia tăng tải trọng và thúc đẩy lún.

3.1.3 Tỉnh Cà Mau

Cà Mau có trầm tích Holocen rất dày, nền đất yếu, độ lún cao tại Mũi Cà Mau (23,4 mm/năm). Dù ít đô thị hóa hơn TP. Hồ Chí Minh và Tp. Cần Thơ, nhưng mức độ khai thác nước ngầm nông và tình trạng co ngót đất vào mùa khô khiến khu vực này vẫn lún mạnh.

Bảng 1. *Giá trị lún bình quân tại một số điểm quan trắc lún nông.*

STT	Vị trí quan trắc lún	Thời gian quan trắc	Độ lún bình quân/năm
1	Mũi Cà Mau	6/2011 - 1/2015	23,4mm
2	Cù lao Dung	2/2012 - 1/2015	28,8mm
3	Cần Giờ	6/2010 - 1/2015	38,7mm
4	Búng Bình Thiên	5/2014 - 1/2015	10,6mm
5	Đầm Dơi, Cà Mau	3/2014 - 1/2015	5,5mm
6	Hòa An, Vị Thanh, Hậu Giang	7/2013 - 1/2014	7,8mm
7	Tràm Chim, Đồng Tháp	7/2012 - 5/2014	5,8mm

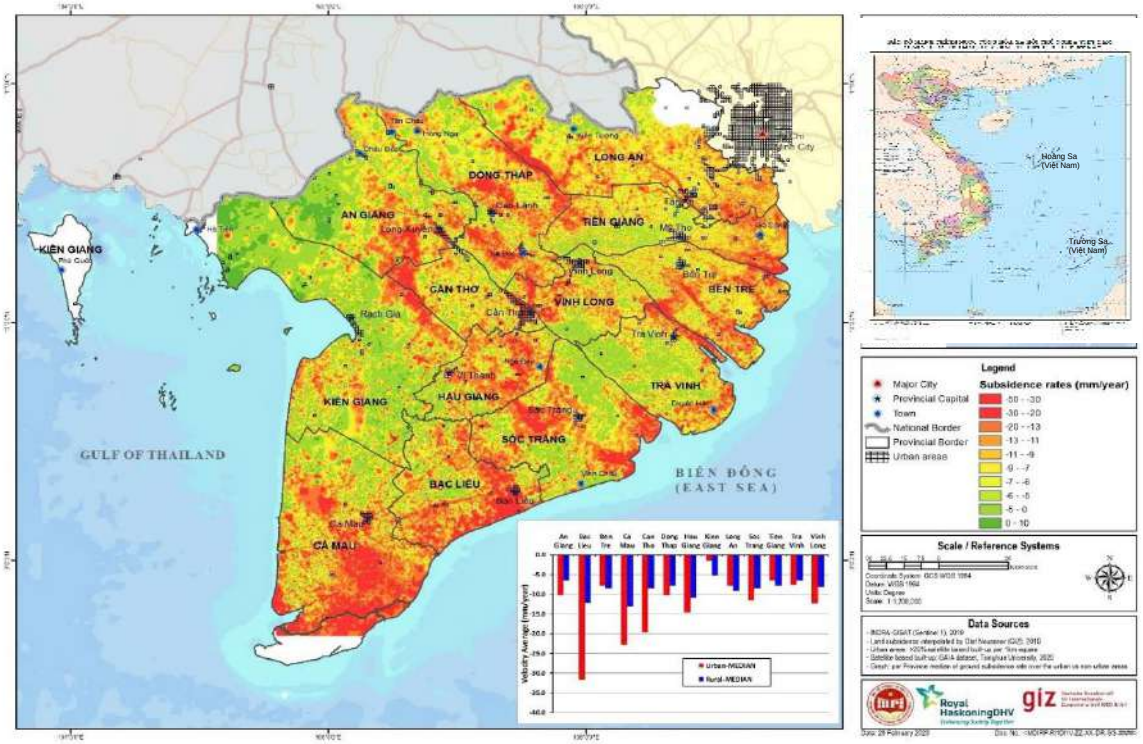


Hình 1. Trạm quan trắc lún nông và các vị trí đặt trạm

3.2 Kết quả quan trắc và đo đạc lún

Phương pháp quan trắc bằng thiết bị nhện từ tại TP. Hồ Chí Minh trong giai đoạn 2017-2018 cho thấy mức độ lún sâu đáng kể. Tại Thủ Thiêm, độ lún đạt 89mm trong vòng 336 ngày (SIWRR, 2013), tương đương tốc độ lún gần 10cm/năm. Tại Nhà máy xử lý nước thải Bình Hưng, độ lún đo được là 13mm ở độ sâu 18m và 18mm tại độ sâu 24,6m.

Ngoài ra, dữ liệu ảnh vệ tinh InSAR do INDRA-GISAT (2019) phân tích cho thấy nhiều khu vực trong vùng ĐBSCL có tốc độ lún vượt quá 3 cm/năm, thậm chí có nơi vượt 5 cm/năm. Điều đáng lưu ý là mức lún này cao gấp hơn 10 lần tốc độ nước biển dâng trung bình (khoảng 0,3-1 cm/năm).

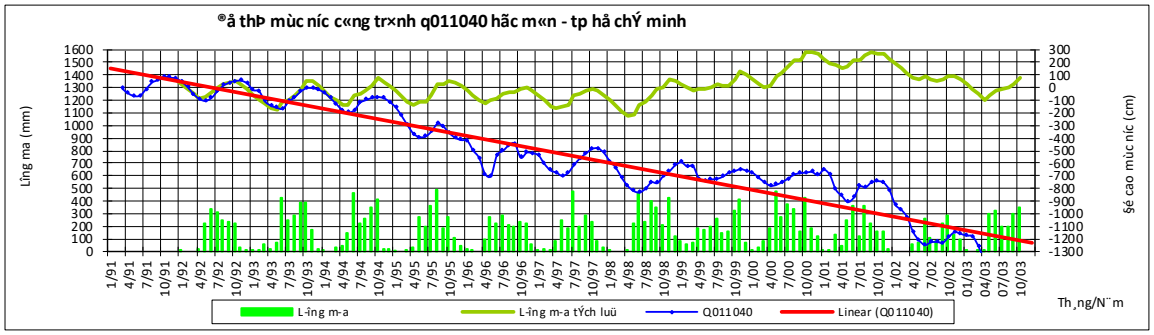


Hình 2. Kết quả quan trắc sụt lún Vùng ĐBSCL dựa theo phân tích ảnh vệ tinh INSAT.

Nguồn: GIZ - INDRA-GISAT (2019) (trích từ: Royal HaskoningDHV - GIZ, Báo cáo cơ sở: Biến đổi khí hậu, 2/2020)

3.3 Mối liên hệ giữa hiện tượng lún và hoạt động nhân sinh

Phân tích không gian các khu vực có mật độ khai thác nước ngầm cao và khu vực đô thị hóa nhanh cho thấy mối tương quan rõ rệt với tốc độ lún. Khu vực Gò Vấp, Quận 12, Thủ Đức, Bình Tân (TP. HCM) nơi tập trung nhiều giếng khoan và trạm cấp nước, có tốc độ lún trung bình 15-20 mm/năm. Tại khu vực có tải trọng xây dựng cao như khu đô thị Thủ Thiêm hay Vinhomes Tân Cảng, quá trình cố kết đất yếu diễn ra nhanh hơn, gia tăng lún bề mặt đáng kể.



Hình 3. Mực nước tầng pliocen thượng và lượng mưa ở Hóc Môn

Khu vực TP. Hồ Chí Minh hiện đang đứng đầu cả nước về tốc độ tăng trưởng kinh tế, do đó đã kéo theo việc gia tăng dân số và nảy sinh nhu cầu sử dụng nước rất lớn trong những năm gần đây, đặc biệt là khai thác nước dưới đất, kết quả đã làm cho mực nước của các tầng chứa nước hạ thấp xuống nhanh chóng. Hình 3 cho thấy mực nước tại Hóc Môn (vùng khai thác nước tầng pliocen thượng nhiều nhất TP. Hồ Chí Minh) từ 1992 đến nay mực nước đã suy giảm từ 0,5m đến -12,5m (tốc độ suy giảm trung bình 1,1m/năm). Đây là số liệu từ trạm quan trắc q011040 xa bãi giếng khai thác của nhà máy nước ngầm Hóc Môn, thực ra mực nước tại trung tâm bãi giếng còn thấp hơn nhiều. theo thống kê của Sở Tài nguyên và Môi trường TP. Hồ Chí Minh thì tổng lượng khai thác ở tầng pliocen thượng là 376.163 m^3/ngày, chiếm 47,8% tổng lưu lượng khai thác trên toàn thành phố (bảng 2).

Bảng 2. *Hiện trạng khai thác tầng pliocen thượng khu vực TP. Hồ Chí Minh tính đến 6/2003*

STT	Quận/huyện	Số lượng - giếng	Tổng lượng khai thác - m^3/ngày	STT	Quận/huyện	Số lượng - giếng	Tổng lượng khai thác - m^3/ngày
1	Quận 1	1	450	12	Quận 12	348	13.900
2	Quận 2	209	18.137	13	Gò Vấp	24	31.890
3	Quận 3		0	14	Tân Bình	806	81.496
4	Quận 4	8	369	15	B. Thạnh	49	612
5	Quận 5	2	120	16	Phú Nhuận	10	318
6	Quận 6	331	6.677	17	Thủ Đức	14.525	139.898
7	Quận 7	70	991	18	Củ Chi	562	3764
8	Quận 8	233	5.428	19	Hóc Môn	207	4.548
9	Quận 9	51	8.931	20	Bình Chánh	10.872	46.388
10	Quận 10	4	5.960	21	Nhà Bè	493	2011
11	Quận 11	203	4.276	22	Cần Giờ	0	0

3.4 Kết quả mô hình hóa lún bằng MODFLOW

Các mô hình dự báo lún bằng MODFLOW được thực hiện với 3 bài toán khác nhau cho thấy mức độ lún tối đa dao động từ 0,4m đến 3,6m sau 20 năm, tùy theo hệ số đàn hồi và lưu lượng khai thác. Kết quả này củng cố giả thuyết rằng khai thác nước ngầm quá mức là một trong những

nguyên nhân chính gây ra lún bề mặt đất (Guzy và nnk., 2023; Minderhoud và nnk., 2017).

Kết quả thống kê cho thấy mực nước dưới đất hạ thấp khá lớn ở những trung tâm khai thác, do vậy sự hạ thấp mặt đất là điều khó tránh khỏi. Tuy nhiên, vấn đề này vẫn chưa được các cơ quan hữu quan quan tâm đúng mức. Trong khi tại Băng Cốc từ năm 1978, AIT và Ủy ban Môi trường Quốc gia đã đầu tư xây dựng 27 mốc đo độ cao nghiên cứu lún mặt đất và năm 1985 Cục điều tra Hoàng gia Thái Lan xây dựng thêm 14 mốc đo lún nữa thì hiện tại ở TP. Hồ Chí Minh vẫn chưa có mốc nào. Vấn đề lún mặt đất ở đây mới chỉ dừng ở các dự báo lún trong các báo cáo đánh giá trữ lượng khai thác cho các nhà máy nước sau 25 năm công trình đi vào hoạt động. Tính toán theo công thức Lohman trình bày ở phần lý thuyết cho kết quả mực nước hạ thấp dự báo cho các nhà máy nước khai thác trong tầng pleistocene dao động từ 0,002 tới 0,0058.m, còn giá trị này đối với tầng pliocene - dao động trong khoảng 0,011÷0,040.m.

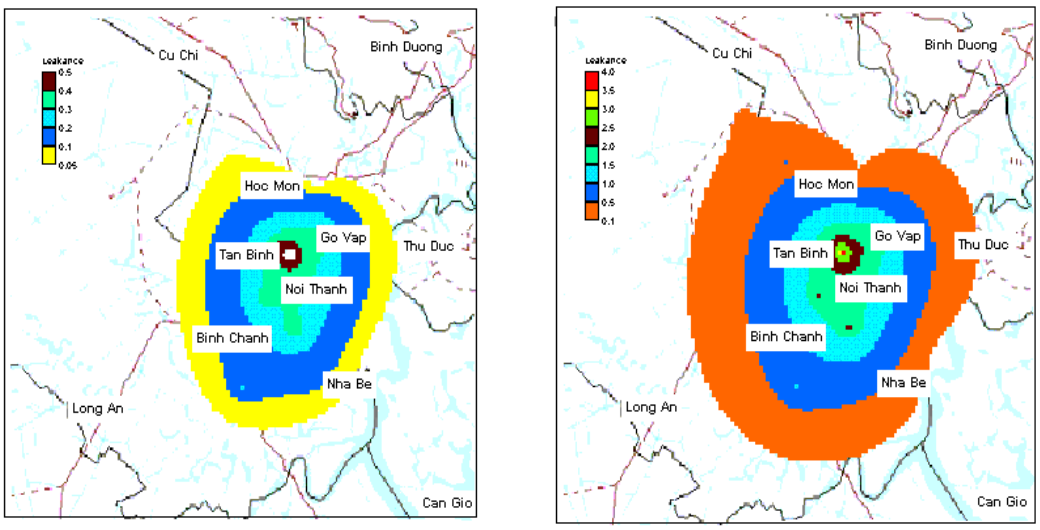
Tuy nhiên, một số nơi tại TP. Hồ Chí Minh quan sát thấy hiện tượng chồi ống chống ở vài giếng khai thác. Độ cao chồi ống chống dao động từ 5 cm tới 20 cm. Những quan sát trên chứng tỏ hiện tượng sụt lún bề mặt do khai thác đã diễn ra và cao hơn những tính toán dự báo.

Bằng kết quả từ mô hình modflow, các chuyên gia thuộc liên đoàn Quy hoạch và Điều tra Tài nguyên nước Miền Nam đã tính toán với các giá trị khác nhau của hệ số nhả nước đàn hồi và hệ số nhả nước trọng lực (bảng 2) khi lưu lượng khai thác là 560.346m^3/ngđ, kết quả tính toán mô tả trong hình 6.

Bảng 3. *Thông số cho các kịch bản tính lún theo Lohman*

	Bài toán 1	Bài toán 2	Bài toán 3
Hệ số nhả nước đãn hồi s_{ske}	0.001	0.0002	0.0001
Hệ số nhả nước trọng lực s_{skv}	0.01	0.002	0.001

Kết quả cho thấy: Đối với bài toán 1 dự báo tại vùng trung tâm độ lún tối đa là 3,60 mét sau 20 năm. Trong khi đó, độ lún tối đa tại trung tâm vùng lún cho bài toán 2 là 0,75 m và cho bài toán 3 là 0,40 m. Ngoài ra, hầu như cả diện tích của TP. Hồ Chí Minh bị ảnh hưởng sụt lún do sự khai nước.



(a) (b)

Hình 4. Bản đồ lún (m) do khai thác nước sau 20 năm
(a) bài toán 1; (b) bài toán 2 Liên đoàn Quy hoạch và Điều tra tài nguyên nước miền Nam)

Nhận xét:

- Lưu lượng nước khai thác phục vụ cho TP. Hồ Chí Minh ngày càng gia tăng nhanh chóng, chắc chắn sẽ dẫn tới nhiều biến động về môi trường địa chất, trong đó, hiện tượng sụt lún bề mặt, nhiễm mặn, cạn kiệt nguồn nước đã có những biểu hiện rõ rệt.

- Hiện tượng sụt lún bề mặt ở TP. Hồ Chí Minh hiện được nghiên cứu quá ít, cần có những nghiên cứu sâu hơn về cơ chế lún bề mặt do khai thác nước dưới đất để có thể lựa chọn các phương pháp dự báo phù hợp với điều kiện địa chất thủy văn và quy mô khai thác tại đây.

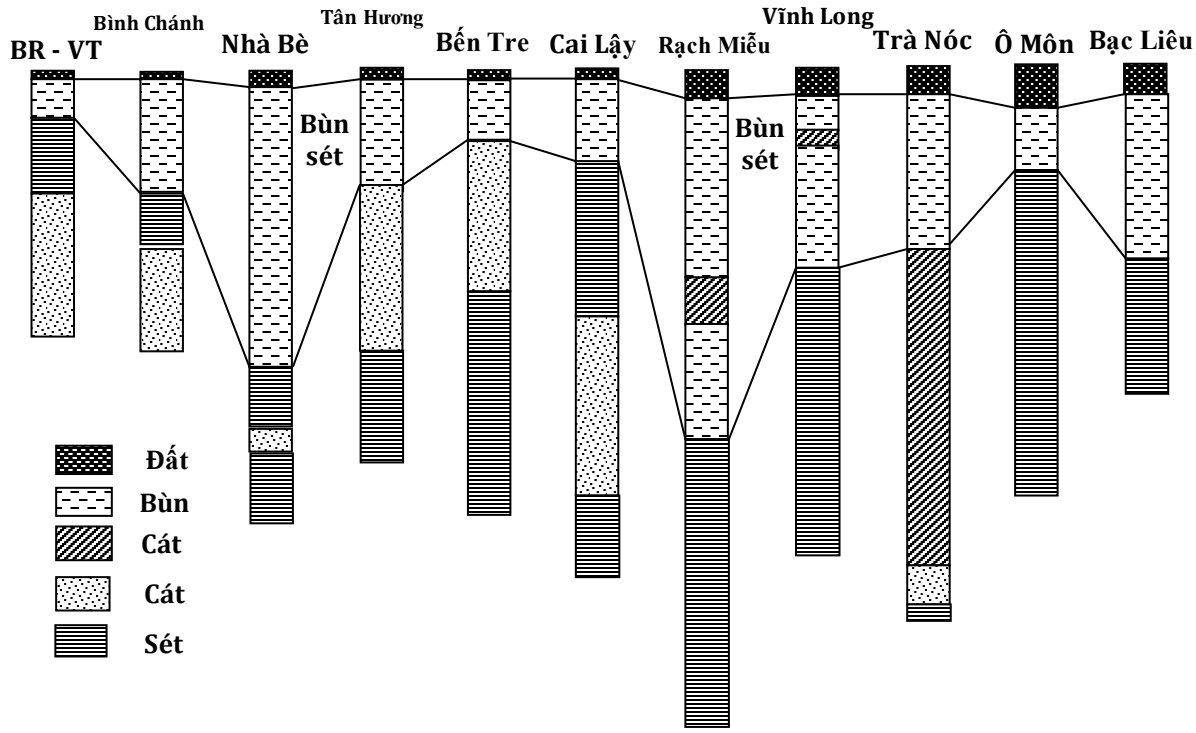
- Để việc nghiên cứu, dự báo lún bề mặt có hiệu quả và chính xác, cần xây dựng ngay những mốc quan trắc lún mặt đất ở trung tâm những khoảnh khai thác tập trung của thành phố.

3.5 Phân tích so sánh giữa các khu vực

Dựa vào Hình 5 ta thấy rằng lớp trầm tích Holocen thuộc khu vực ĐBSCL có chiều dày biến đổi từ 18,0 m đến 30,0 m, trung bình 25,4 m. Về mặt địa chất công trình, đây cũng là lớp đất nền yếu, mới được hình thành và đang trong quá trình tự cố kết.

Nhìn chung, về đặc điểm địa chất công trình, có thể nói, trên toàn bộ bề mặt Đồng bằng sông Cửu Long, ta gặp trầm tích Holocen dạng bùn sét với nguồn gốc chủ yếu là sông biển, biển sông, biển có bề dày rất khác nhau (Hình 3). Tại TP. Hồ Chí Minh, loại đất yếu bùn sét này gặp chủ yếu ở Bình Chánh, Nhà Bè, một ít ở Hóc Môn, Gò Vấp, Thủ Đức. Ở Bình Chánh, tầng đất yếu này dày từ vài mét tới 18m, phía Nhà Bè có nơi dày tới hơn 40m, tại khu vực duyên hải có thể có bề dày tới 80m… Tại Tp. Cần Thơ, trầm tích bùn sét Holocen có bề dày ở Trà Nóc khoảng 25 – 30 m, ở Ô Môn khoảng 8 – 12 m… Còn tại Năm Căn (Cà Mau) bề dày lớp bùn sét dao động từ 19 m tới 33 m… Đây là một yếu tố cần lưu ý khi đánh giá về các hiện tượng lún bề mặt tại ĐBSCL.

Các kết quả đo đạc và mô hình hóa cho thấy lún mặt đất không chỉ là hiện tượng địa chất - thủy văn, mà còn liên quan mật thiết đến các yếu tố quy hoạch và phát triển đô thị. So sánh với Jakarta (Indonesia) hay Bangkok (Thái Lan), có thể thấy điểm chung là: tốc độ lún gắn liền với khai thác nước và tốc độ xây dựng hạ tầng trên đất yếu. Điều này đặt ra yêu cầu tích hợp bản đồ nguy cơ lún vào hệ thống quy hoạch đô thị.



Hình 5. Bề dày lớp bùn sét tại một số vị trí ở Đồng bằng sông Cửu Long.

Bên cạnh đó, hệ thống quan trắc hiện nay còn phân tán, thiếu kết nối và chưa liên tục. Việc thiết lập mạng lưới quan trắc tự động (cảm biến lún nông - sâu, ảnh vệ tinh định kỳ) là điều kiện tiên quyết để cảnh báo sớm và đánh giá hiệu quả các biện pháp can thiệp.

Mặc dù khai thác nước dưới đất là nguyên nhân quan trọng, song tại một số khu vực có mật

độ khai thác thấp vẫn xảy ra lún (như Châu Thành - Hậu Giang). Ngược lại, một số nơi như Bến Lức - Long An hay Tân Phước - Tiền Giang có khai thác nước lớn nhưng không ghi nhận lún nghiêm trọng. Điều này cho thấy lún mặt đất là kết quả tổng hợp của nhiều yếu tố: loại đất nền, bề dày trầm tích, lịch sử tải trọng, điều kiện địa chất - thủy văn, và vận động kiến tạo.

Từ các dữ liệu đo thực địa, phân tích ảnh vệ tinh, mô hình toán và so sánh liên vùng, có thể khẳng định rằng:

- Lún mặt đất tại ĐBSCL và TP.HCM là hiện tượng nghiêm trọng, có xu hướng gia tăng.
- Việc thiếu hệ thống quan trắc đồng bộ và dài hạn là một thách thức trong dự báo và ứng phó.
- Phát triển đô thị và công nghiệp là tác nhân xúc tác làm tăng tốc độ lún.
- Khai thác nước ngầm quá mức và cố kết tự nhiên của đất yếu Holocen là nguyên nhân chủ yếu.

4. Kết luận

Qua quá trình tổng hợp tài liệu, phân tích dữ liệu quan trắc và mô hình hóa, nghiên cứu đã làm rõ hiện trạng lún mặt đất tại ba đô thị lớn của vùng Đồng bằng sông Cửu Long gồm TP. Hồ Chí Minh, Tp. Cần Thơ và Cà Mau. Các kết quả cho thấy tốc độ lún trung bình tại nhiều khu vực đã vượt quá 2-5 cm/năm, thậm chí có nơi lên đến gần 10 cm/năm. Đây là mức độ đáng báo động, vượt xa tốc độ dâng mực nước biển và đặt ra nhiều thách thức cho phát triển bền vững đô thị trong khu vực.

Nguyên nhân chính gây lún được xác định là do sự gia tăng tải trọng do phát triển hạ tầng - đô thị, sự cố kết tự nhiên của các lớp đất yếu Holocen. Bên cạnh đó, các yếu tố như vận động kiến tạo hiện đại, co ngót đất sét khi khô hạn và sự thiếu hụt trầm tích do các công trình thủy điện thượng nguồn, khai thác nước dưới đất quá mức cũng góp phần thúc đẩy quá trình lún.

Kết quả mô hình hóa và phân tích bản đồ phân vùng rủi ro cho thấy lún mặt đất không diễn ra đồng đều mà phụ thuộc vào đặc điểm địa chất, mức độ đô thị hóa và mật độ giếng khai thác nước ngầm. Sự không đồng nhất này đòi hỏi các giải pháp ứng phó phải được thiết kế phù hợp cho từng khu vực cụ thể.

Bên cạnh đó, để phát triển bền vững chúng ta cần thực hiện các biện pháp sau: Đối với chính sách cần có giải pháp giảm khai thác nước ngầm tại các vùng có nền đất yếu, chuyển dần sang sử dụng nước mặt. Về Kỹ thuật - công nghệ cần áp dụng giải pháp gia cố nền đất yếu trước khi xây dựng (cọc cát, bấc thấm), hạn chế xây dựng công trình cao tầng ở vùng Holocen dày. Trong công tác Quy hoạch đô thị. Tích hợp bản đồ nguy cơ lún vào hệ thống GIS quy hoạch; ưu tiên phát triển theo hướng lan tỏa thay vì tập trung tải trọng. Phát triển các nghiên cứu quan trắc đồng bộ theo chiều sâu để xác định biên độ cố kết và đánh giá vai trò của hoạt động kiến tạo theo từng phân vùng.

Lời cảm ơn

Chúng tôi xin trân trọng cảm ơn Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (HCMUT, VNU-HCM) đã hỗ trợ cho nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

De Wit, K., Lexmond, B.R., Stouthamer, E., Neussner, O., Dörr, N., Schenk, A., Minderhoud, P.S.J., 2021. *Identifying causes of urban differential subsidence in the Vietnamese Mekong Delta*. Remote Sensing, 13(2), 189.

Dunn, F.E., Minderhoud, P.S.J., 2022. *Sedimentation strategies provide effective but limited mitigation of relative sea-level rise in the Mekong Delta*. Communications Earth & Environment, 3, 2.

Guzy, A., Minderhoud, P., Erban, L., Schmitz, P., 2023. *Enhancing predictions of land subsidence induced*

by groundwater extraction in the Mekong Delta. EGU General Assembly 2023, Abstract EGU23-13624.

Minderhoud, P.S.J., Erkens, G., Pham, V.H., Bui, V.T., Erban, L., Kooi, H., Stouthamer, E., 2017. *Impacts of 25 years of groundwater extraction on subsidence in the Mekong delta, Vietnam*. Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS), 114(4), 865-870.

Olson, K.R., 2022. *The Mekong Delta in Vietnam and Cambodia is subsiding and in need of remediation*. Open Journal of Soil Science, 12(4), 171-192.

SIWRR, 2013. WISDOM *Project - Water-related Information System for the Sustainable Development of the Mekong Delta*. Southern Institute of Water Resources Research (SIWRR) - German Cooperation.

Assessment of the status, conditions, and causes of land subsidence in Ho Chi Minh city, Can Tho city, and Ca Mau (Mekong Delta)

Dao Hong Hai[1,2,*], Nguyen Viet Ky [1,2], Lam Hoang Quoc Viet[3], Pham Xuan Duc[1]

[1]*Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), VNU-HCM,*

[2]*Vietnam National University Ho Chi Minh City*

[3]*Center for Nuclear Technologies*

**Corresponding author: dhhai@hcmut.edu.vn*

Abstract

Land subsidence has been occurring severely in many areas of the Mekong Delta, especially in major cities such as Ho Chi Minh City, Can Tho city, and Ca Mau. This study aims to assess the current situation, underlying conditions, and primary causes of surface subsidence in the aforementioned urban areas. The research focuses on analyzing geological-hydrogeological characteristics, the extent of groundwater exploitation, urbanization rates, and regional climate change impacts. The methods applied include: literature synthesis, analysis of subsidence monitoring data (leveling surveys, magnetic spider devices, InSAR satellite imagery), subsidence modeling using MODFLOW, and risk zoning using GIS tools. Results indicate that subsidence rates in some areas range from 2-5 cm/year, with certain locations exceeding 8-10 cm/year — far higher than the average sea level rise. Major contributing factors include natural consolidation of weak Holocene sediments, overextraction of groundwater, and increasing loads from urban development. A risk zoning map of subsidence-prone areas is proposed to support early warning and sustainable urban planning under complex climate change scenarios.

Keywords: Land subsidence; Mekong Delta; Groundwater extraction; Holocene consolidation; Urban sinking

NGHIÊN CỨU SỰ ỔN ĐỊNH CỦA TƯỜNG CHẮN CÁC BỜ SÔNG KHI CHỊU TÁC ĐỘNG CỦA ÁP LỰC NƯỚC VÀ TẢI TRỌNG BỀ MẶT

Trần Tuấn Minh[1,2*], Đặng Trung Thành[1], Nguyễn Duyên Phong[1]

[1]Trường Đại học Mỏ - Địa chất

[2]Nhóm nghiên cứu mạnh Địa kỹ thuật, vật liệu và phát triển bền vững (GECS)

**Tác giả liên hệ: Email: trantuanminh@humg.edu.vn; tuanminhhumg@yahoo.com*

Tóm tắt

Các tường chắn các sườn sông là điều cần thiết để bảo vệ đê cũng như các công trình ở phía sau sườn đê bên kia. Đặc biệt là ở những khu vực bờ sông chịu áp lực của dòng nước chảy mạnh làm sói mòn đất cũng như làm giảm độ bền của đê. Ngoài ra ở những khu vực dòng sông và bờ sông ở cạnh các khu dân cư đô thị thì việc xây dựng tường kè và tường chắn tránh va đập cũng như đảm bảo an toàn là điều cần thiết. Tuy nhiên, sự ổn định của tường chắn bờ sông thì phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác nhau như đặc tính cơ lý của đất khu vực, sự thay đổi dòng chảy, mực nước sông, đặc tính của vật liệu tường chắn, tải trọng bên trên bờ đê cũng như các yếu tố khác. Mặt khác, ngày nay phương pháp số ngày càng được sử dụng rỗng rãi để phân tích ổn định các công trình do có ưu điểm cùng lúc xem xét được nhiều yếu tố tác động trong quá trình làm việc. Bài báo trình bày nghiên cứu ổn định của tường chắn bờ sông khi có xem xét đến sự thay đổi mực nước trên sông và tải trọng bổ sung trên bề mặt đất phía trên các bờ sông bằng phần mềm số. Kết quả chỉ ra rằng, mực nước sông và tải trọng bổ sung có ảnh hưởng tuyến tính đến sự ổn định của tường chắn, tải trọng tăng, mực nước sông tăng thì chuyển vị trên đỉnh tường cũng tăng. Tuy nhiên trong điều kiện cụ thể bài toán xem xét với cả hai trường hợp khi mực nước sông 4,5m và tải trọng lớn nhất trong nghiên cứu 100 kN/m^2 thì tường chắn bờ sông vẫn ổn định.

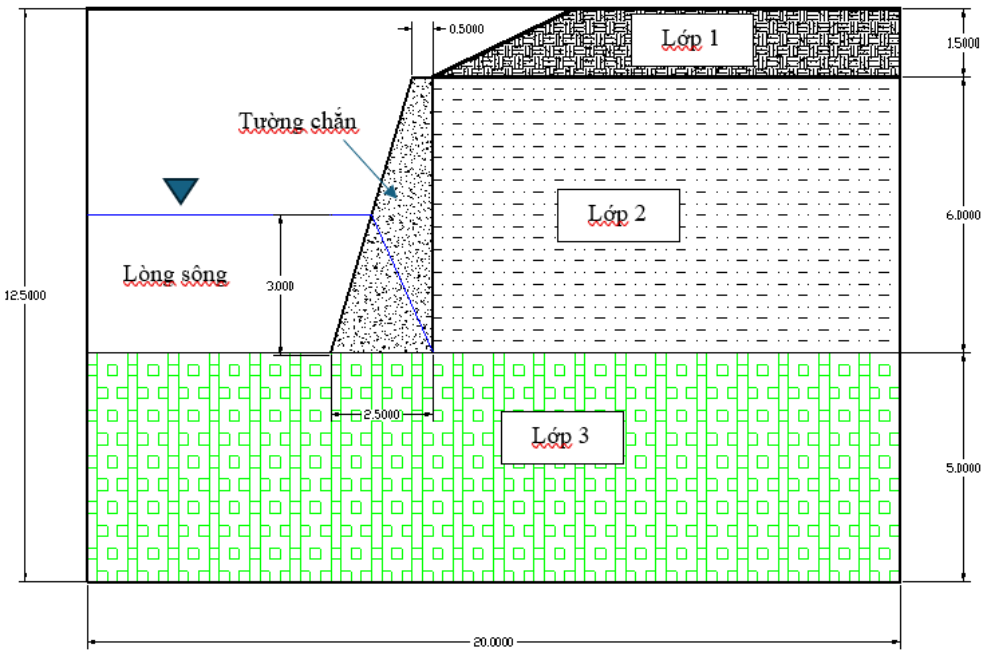
***Từ khóa**:* Bờ sông, tường chắn, tải trọng bổ sung, ổn định, áp lực nước.

1. Đặt vấn đề

Việc xây dựng các tường chắn cho các đoạn sông chảy qua các thành phố, thị xã là điều cần thiết ở nước ta hiện nay. Đặc biệt là khu vực Đồng bằng Sông Cửu Long nơi có mật độ sông ngòi dày đặc cần được gia cường và củng cố. Hiện nay, việc làm này hiện nay được xem là công phu và tốn kém. Việc nghiên cứu ổn định nền đất ở khu vực Đồng bằng Sông Cửu Long tránh sạt lở, trượt lở đã được nhiều tác giả trong và ngoài nước quan tâm (Bùi Văn Bình và nnk, 2023; Bui Hoang Khuyen và nnk, 2024; Ngoc Bui Vu và nnk, 2022; Vu Minh Ngoc và nnk, 2021). Ngoài ra, trong các tài liệu giảng dạy ở các Trường Đại học ở Việt Nam cũng đã có tài liệu liên quan (Tạ Đức Thịnh, 2005; 2009). Thời gian gần đây, một số tác giả ở Việt Nam cũng quan tâm nhiều đến sự ổn định của nền đất, đường bên dưới các lớp đất đắp và có xem xét đến tải trọng bổ sung của bề mặt (Phạm Văn Hùng và nnk, 2025). Tuy nhiên, qua tìm hiểu các tài liệu trong và ngoài nước thì do đặc tính sông ngòi lên xuống theo thủy chiều, nhà cửa và công trình trên bề mặt bên cạnh san sát gây tải trọng bổ sung lên các đê chắn với các bờ sông trên thực tế. Hiện nay việc phân tích, tính toán lý thuyết có quan tâm cùng một lúc đến các yếu tố nhà cửa cũng như đặc tính đất đá và kết cấu chống giữ tường chắn là rất khó khăn và nhiều trường hợp việc tính toán bằng tay thủ công không thể giải quyết được. Mặt khác, ngày nay với sự phát triển của khoa học kỹ thuật, các máy tính thế hệ mới ra đời, các phương pháp số và phần mềm số (Nguyễn Quang Phich, 2007; Trần Tuấn Minh, 2014; Pham Van Hung và nnk, 2019; Pham Minh Tuan và nnk, 2024) cũng phát triển không ngừng, những phát triển này đã giúp cho việc phân tích, tính toán và thiết kế ổn định bờ kè tránh sạt lở, sói mòn một cách nhanh chóng và hiệu quả. Trong bài báo này giới thiệu việc sử dụng phương pháp số phân tích ổn định cho bài toán tường chắn các sườn sông chịu tác dụng của nước và sự thay đổi tải trọng bổ sung trên bề mặt.

2. Mô hình nghiên cứu

Mô hình bài toán đặt ra với một tường chắn của bờ sông chịu tác dụng của nước va với chiều sâu mức nước thay đổi theo mùa. Phía sau tường chắn là 2 lớp đất đắp (lớp 2 và lớp 1), phía dưới của nó là lớp nền ổn định hơn, bài toán đơn giản có tính đối xứng trục do đó chúng ta sử dụng sơ đồ bài toán với kích thước các lớp đất và mô hình nghiên cứu như trong hình 1. Đặc tính của đất đắp phía sau tường chắn và của đất đá nền bên dưới tường chắn thể hiện như trong bảng 1 và 2.



Hình 1. Sơ đồ lý thuyết của bài toán xem xét

Bảng 1. *Các đặc tính đất nền và đất đắp trong bài toán phân tích*

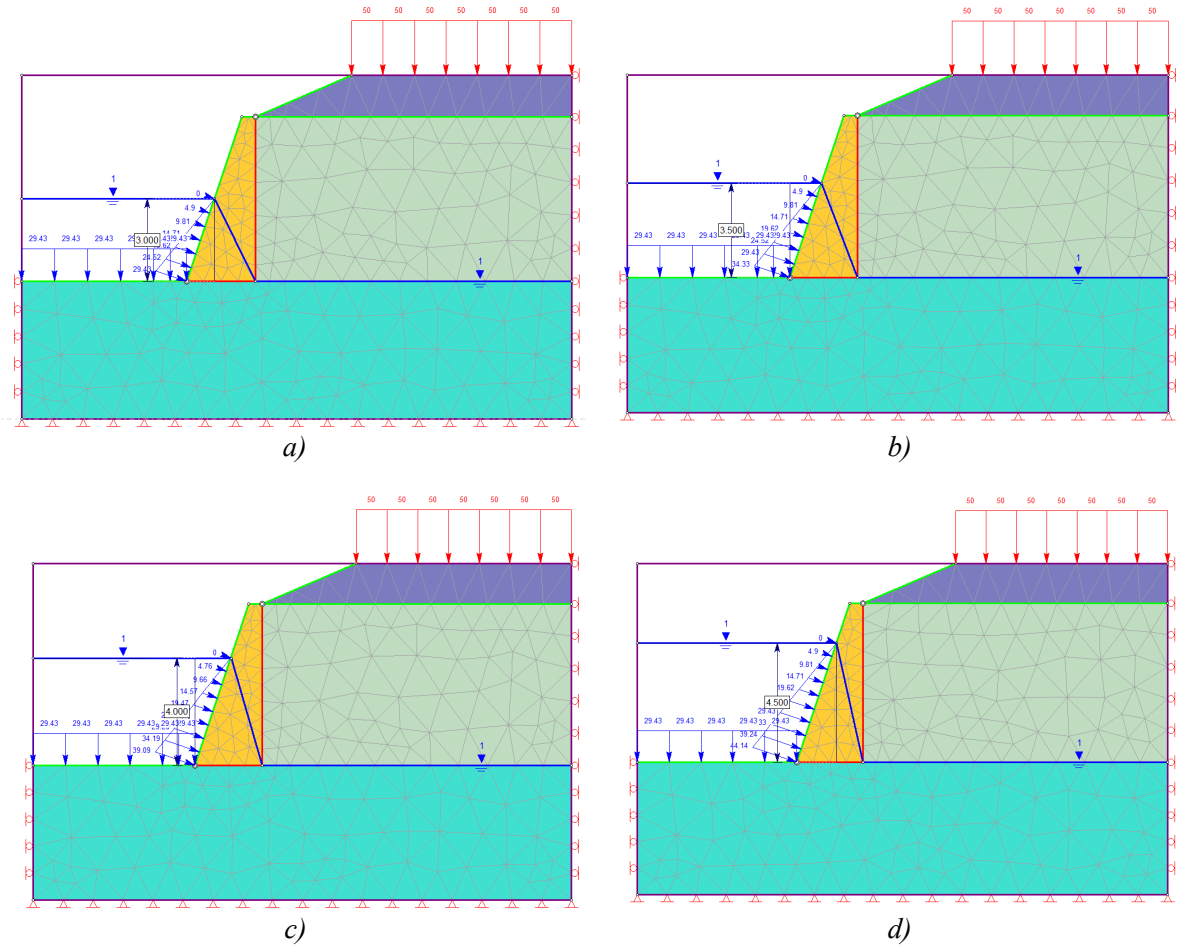
Tên tham số	Ký hiệu	Đơn vị	Lớp đất 1	Lớp đất 2	Lớp 3
Mô hình vật liệu	Model	-	M-C	M-C	M-C
Trọng lượng thể tích của đất	γ	kN/m^3	20	20	27
Mô đun đàn hồi E	E	kPa	50000	70000	800000
Hệ số Poisson	μ	-	0,2	0,2	0,20
Độ bền kéo	σ_k	kPa	0	0	0
Góc ma sát trong	φ	Độ	35	40	35
Lực dính kết	c	kPa	0	0	5

Bảng 2. *Đặc tính vật liệu của tường chắn*

Tên tham số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Loại vật liệu	Model	Đàn hồi	-
Hệ số Poisson	μ	0,2	
Độ bền kéo	C	0	MPa
Góc ma sát trong	φ	35	Độ
Lực dính kết	P_k	10,5	kPa
Chiều dầy tường chắn	d_c	Đỉnh trên 0,5; Đáy dưới 2,5m	m
Mô đun đàn hồi của tường chắn	E_t	2500000000	kPa
Trọng lượng thể tích	γ	24	kN/m^3

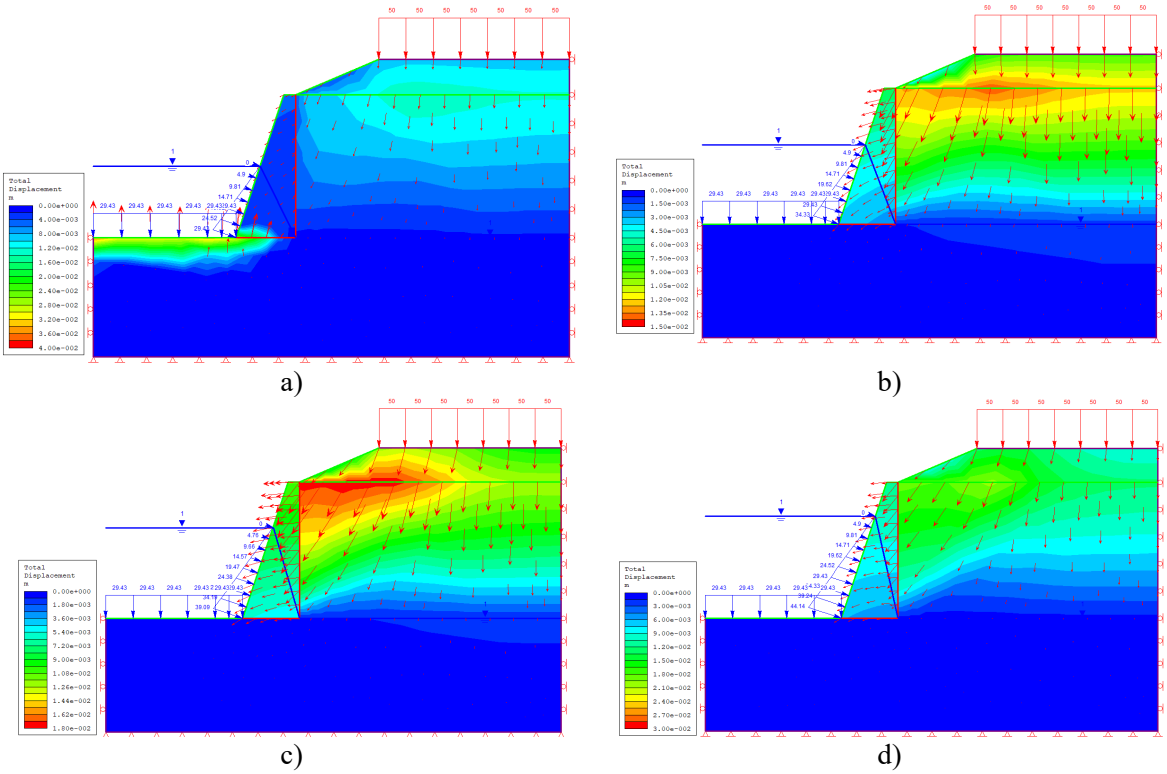
2.1 Trường hợp thay đổi mực nước trên sông

Trong trường hợp đầu tiên, ta xét sự thay đổi mực nước trên sông H thay đổi từ lần lượt từ 3,0m; 3,5m; 4,0m; 4,5m để xem xét sự thay đổi áp lực lỗ rỗng bên dưới tường chắn. Trường hợp này nghiên cứu với giả thiết tải trọng bổ sung trên nền đất đắp lớp 1 bên trên được cố định là 50kN, trường hợp thay đổi tải trọng bổ sung sẽ được nghiên cứu ở phần bên dưới. Trên cơ sở các giả thiết như trên và bằng phần mềm Phase 2 ta có thể mô phỏng cho bài toán trong trường hợp này như trong hình 2.



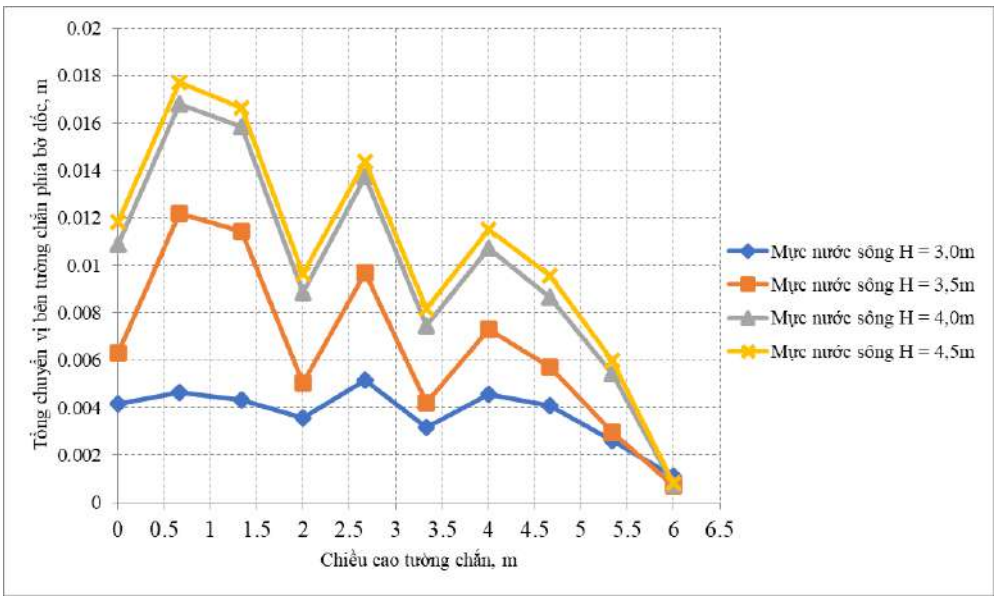
Hình 2. Sơ đồ bài toán phân tích bằng phần mềm Phase 2:
a) Mực nước sông H = 3,0m; b) Mực nước sông H = 3,5m;
c) Mực nước sông H = 4,0m; d) Mực nước sông H = 4,5m

Bằng phần mềm Phase 2, sau khi chạy và phân tích bài toán chúng ta có thể thu được các kết quả phân tích cho phân bố ứng suất và chuyển vị của mô hình và bên trong tường chắn, kết quả phân bố chuyển vị tổng thể cho bài toán thay đổi mực nước sông có thể được quan sát như trong hình 3.



Hình 3. Phân bố chuyển vị tổng thể cho mô hình phân tích: a) Mực nước H = 3,0m; b) Mực nước H = 3,5m; c) Mực nước H = 4,0m; d) Mực nước H = 4,5m

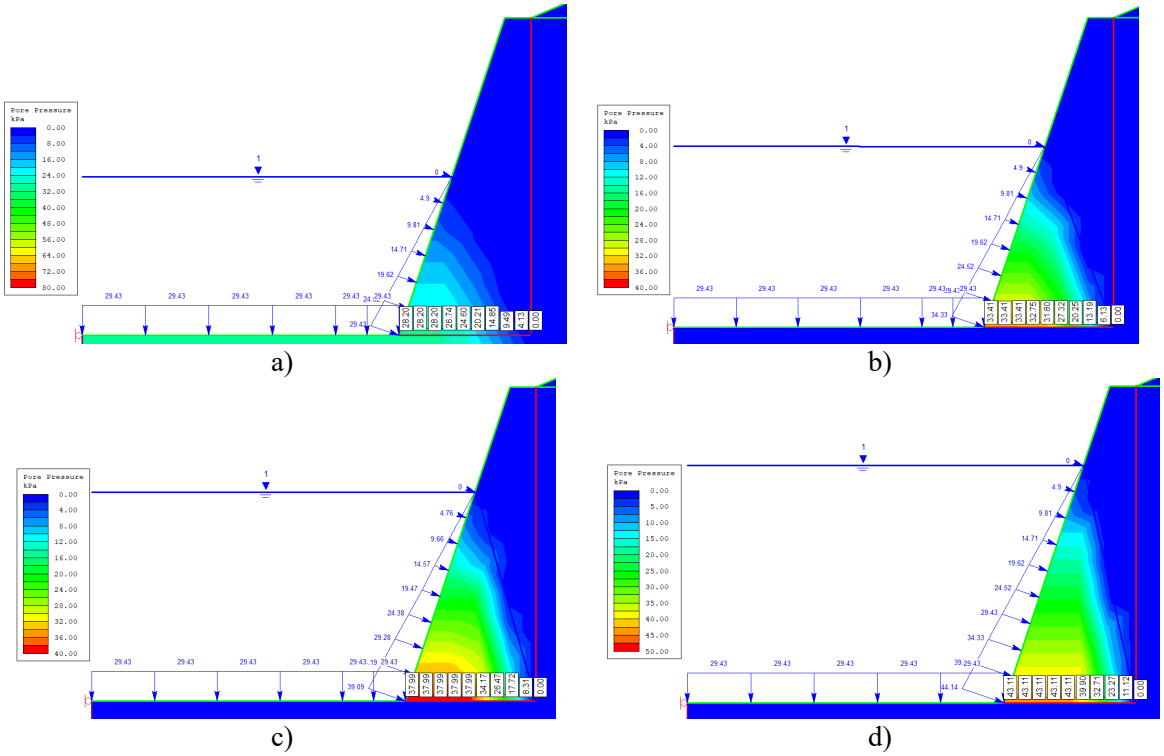
Quan sát kết quả trong hình 3 thấy rằng, khi mực nước sông tăng dần là nguyên nhân đối trọng tăng dần với áp lực đất đá và tải trọng bổ sung trên bề mặt, phía gần tường chắn thể hiện rõ nhất sự đối trọng này. Tuy nhiên, do áp lực đất và tải trọng bổ sung lớn hơn áp lực nước tác dụng lên tường chắn, xu hướng dịch chuyển, véc tơ dịch chuyển của đất đá và tường chắn vẫn dịch chuyển về phía lòng sông. Bằng phân tích chúng ta thiết lập được tổng chuyển vị phía phải tường chắn từ đỉnh nóc tường xuống chân tường trong các trường hợp thay đổi mực nước song như trong hình 4.



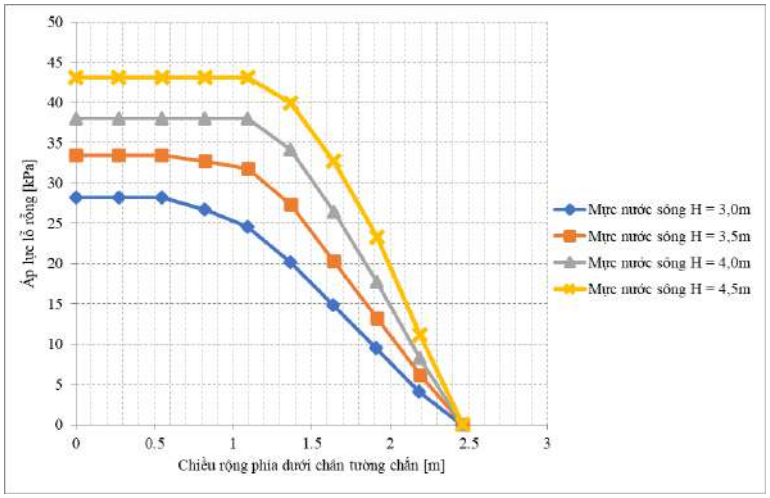
Hình 4. Chuyển vị mép bên ngoài tay phải của tường chắn

Kết quả trên hình 4 chỉ ra rằng, khi mực nước trên sông tăng thì chuyển vị trên tường cũng tăng lên. Tuy nhiên, khi mực nước H = 4,0m và H = 4,5m thì chuyển vị trên tường độ chênh lệch

lại giảm, điều này giải thích rằng khi mức độ nước sông càng tăng thì áp lực tác dụng lên tường chắn dần cao lên đỉnh tưởng làm đối trọng với áp lực đất đá bên sau tường nên sự thay đổi chuyển dịch sẽ nhỏ dần. Khi mực nước sông cao nhất H = 4,5m trong nghiên cứu này thì chuyển vị lớn nhất phía đỉnh tường cũng không vượt quá 0,018m (18mm), tường vẫn nằm trong giới hạn ổn định. Ngoài ra, bằng phân tích chúng ta cũng thu được sự thay đổi áp lực lỗ rỗng phía dưới chân trong tường chắn và sự thay đổi mực nước sông như trong hình 5, và thiết lập được sự thay đổi áp lực lỗ rỗng bên trong tường phía dưới chân tường như trong hình 6.



Hình 5. Sự thay đổi áp lực lỗ rỗng phía trong tường bê tông: a) Mực nước H = 3,0m; b) Mực nước; c) Mực nước H = 4,0m; H = 3,5m; d) Mực nước H = 4,5m

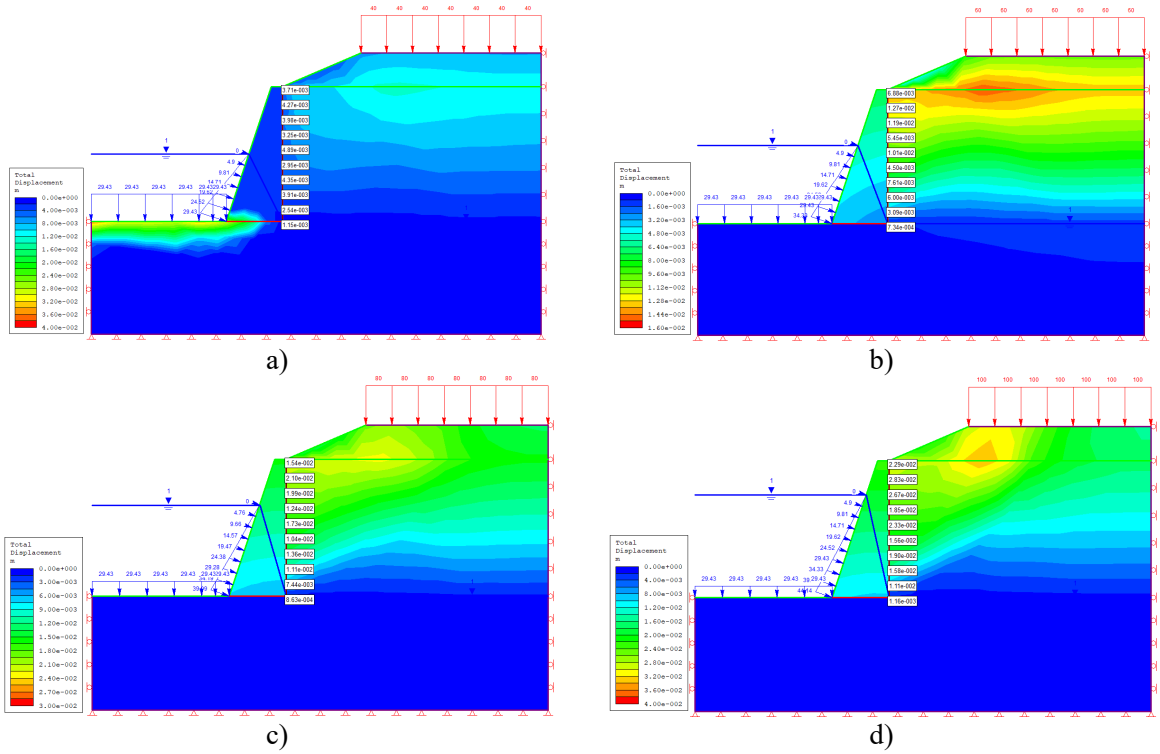


Hình 6. Biểu đồ thay đổi áp lực lỗ rỗng bên trong chân tường chắn

Quan sát kết quả trong hình 6 thấy rằng, khi chiều sâu mực nước sông H tăng thì áp lực lỗ rỗng của nước cũng thay đổi và nó tác động vào phía sâu bên trong tường chắn. Khi H càng tăng thì áp lực lỗ rỗng càng đi sâu vào trong tường chắn, trường hợp H = 4,5m nó đã ảnh hưởng đến tận phía xa nhất của tường chắn vào sâu trong lòng đất.

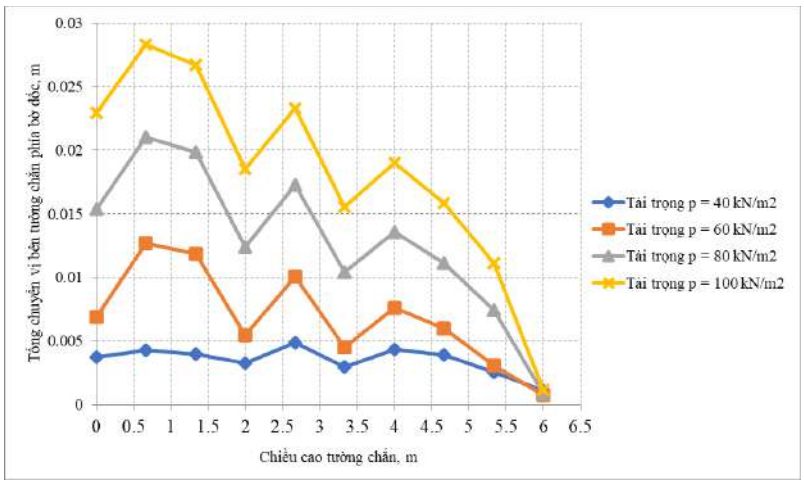
2.2 Trường hợp thay đổi tải trọng bổ sung trên bề mặt đất

Ở trong phần này sẽ đi phân tích bài toán trong trường hợp giữ nguyên mực nước sông là 3,5m trong khi đó sẽ thay đổi tải trọng bổ sung trên bề mặt đất phần bên trên với các phụ tải thay đổi 40 kN/m^2; 60 kN/m^2; 80 kN/m^2; 100 kN/m^2 để xem xét sự thay đổi chuyển vị và ứng suất của tường chắn. Bằng phần mềm Phase 2 có thể mô phỏng bài toán cho nghiên cứu như trong hình 7.



Hình 7. Mô hình bài toán khi thay đổi tải trọng bổ sung trên bề mặt: a) Phụ tải q = 40 kN/m^2; b) Phụ tải q = 60 kN/m^2; c) Phụ tải q = 80 kN/m^2; d) Phụ tải q = 100 kN/m^2

Kết quả phân tích trên hình 7 chỉ ra rằng khi tải trọng bổ sung bề mặt tăng, vùng ảnh hưởng phía bên dưới nền tăng, vị trí ảnh hưởng nhiều nhất nằm tại điểm ngoài cùng vị trí đặt tải sát sườn đê. Bằng phân tích chúng ta cũng thiết lập được mối quan hệ giữa chuyển vị tổng thể phía sau tường chắn và sự thay đổi của tải trọng bổ sung phía trên bề mặt đất, kết quả được mô tả như trong hình 8.



Hình 8. Quy luật của chuyển vị tường chắn và tải trọng bổ sung trên bề mặt

Kết quả trong hình 8 chi ra khi tải trọng bổ sung tăng thì chuyển vị đỉnh tường chắn tăng, trong khi chuyển vị của chân tường (vị trí 6m) gần như không thay đổi. Trong trường hợp tải trọng lớn nhất ở nghiên cứu này p = 100kN/m^2 thì chuyển vị đỉnh tường đạt 0,028m (28mm), giá trị này vẫn nằm trong giới hạn chuyển vị cho phép nên tường chắn vẫn ổn định.

3. Kết quả và thảo luận

Việc nghiên cứu ổn định của tường chắn bờ đê sông là điều cần thiết đối với các công trình bờ sông, đặc biệt là khu vực đồng bằng Sông Cửu Long với mật độ các dòng sông dày đặc.

Sự ổn định của tường chắn phụ thuộc vào rất nhiều các yếu tố khác nhau trong đó có 2 thông số như trong bài báo đã nghiên cứu: mực nước sông thay đổi theo mùa khô, mùa mưa hoặc sự thay đổi thủy chiều; sự thay đổi tải trọng bổ sung bề mặt, đặc biệt đối với các bờ sông sử dụng làm đường giao thông công cộng như các tỉnh phía nam của Việt Nam.

Kết quả nghiên cứu chỉ rằng khi mực nước thay đổi từ (3,0 - 4,5)m đối với bài toán cụ thể như trong nghiên cứu, kết hợp với đặc tính của tường chắn bê tông như trên sẽ không gây ra áp lực lỗ rỗng đối với phía chân tường bên trong của tường chắn. Trong trường hợp này chuyển vị đỉnh tường không quá 0,018m (18mm) nên tường chắn ổn định so với các tiêu chí chuyển vị của công trình theo các tiêu chuẩn hiện hành.

Trong trường hợp thay đổi tải trọng bổ sung trên bề mặt từ (40 - 100)kN/m^2 thì quy luật thay đổi của chuyển vị bên tường có sự thay đổi tuyến tính, tải trọng tăng thì chuyển vị tăng. Với trường hợp tải trọng bổ sung p = 100 kN/m^2 thì chuyển vị đỉnh tường đạt 0,028m (28mm). Giá trị chuyển vị này vẫn nằm trong giới hạn cho phép ổn định và tường chắn ổn định.

Kết quả cứu cũng chỉ ra rằng bằng việc sử dụng phần mềm số chúng ta có thể nhanh chóng lập được mô hình cũng như nhanh chóng cho được kết quả phân tích cho các kết cấu và mô hình. Tuy nhiên, để sử dụng tốt các mô hình thì cần thiết phải có những hiểu biết tốt về điều kiện các tham số đầu vào của đất, kỹ năng mô hình, sự linh hoạt và sáng tạo của người sử dụng các mô hình số.

Tuy nhiên, có thể thấy rằng hạn chế của bài toán và nghiên cứu là đây chỉ là bài toán cho mô hình 2D, tải trọng bổ sung là phân bố đều, bài toán chỉ xem xét đến tải trọng tĩnh mà chưa quan tâm đến tải động của phương tiện giao thông bề mặt. Mực nước sông có sự thay đổi theo mùa, bài toán cũng chưa xem xét đến tải trọng va của nước do tàu, thuyền (nếu có) qua lại. Môi trường nước ở đây cũng đơn giản hóa, chưa xem xét đến sự ăn mòn của nước và các yếu tố khác. Điều này có thể được đề cập đến ở các nghiên cứu xa hơn trong các bài toán cụ thể.

Tài liệu tham khảo

Tạ Đức Thịnh, Nguyễn Huy Phương, Nguyễn Văn Phóng, *Bài tập Cơ học đất*, Nhà xuất bản xây dựng, Hà Nội, 2005.

Tạ Đức Thịnh (chủ biên), Nguyễn Huy Phương, Nguyễn Hồng, Nguyễn Văn Phóng, *Nền và móng công trình*, Nhà xuất bản xây dựng, Hà Nội, 2009.

Tạ Đức Thịnh (chủ biên), Nguyễn Văn Phóng, *Đồ án Cơ học đất - Nền móng*, Nhà xuất bản xây dựng, Hà Nội, 2009.

Bùi Văn Bình, Bùi Trường Sơn, Nguyễn Thị Nụ, Nguyễn Thành Dương, Phạm Thị Việt Nga, *Ảnh hưởng của cường độ mưa đến sự ổn định của mái dốc - Lấy ví dụ ở Quảng Bình, Việt Nam*, Tuyển tập Hội nghị khoa học toàn quốc Vietgeo 2023, 514-523, 2023.

Trần Tuấn Minh, *Giáo trình tin học ứng dụng trong xây dựng công trình ngầm và mỏ*, NXB Xây dựng, Hà Nội 2014.

Nguyễn Quang Phích và nnk, *Sử dụng phần mềm phương pháp số trong tính toán công trình ngầm và mỏ*, Đề tài cấp bộ, Hà Nội, 2007.

Phạm Văn Hùng, Đặng Quang Huy, Ngọ Thị Hương Trang, *Phân tích ổn định tổng thể tường chắn cốt lưới*

địa kỹ thuật bằng phương pháp đơn giản hóa trọng lực liên kết, Xây dựng, 06.2025, 2025.

Nguyen Hoang Khuyen, Nguyen Thi Nu, Nguyen Thanh Duong, Bui Truong Son, Bui Van Binh, *Analysis Instability of the Riverbank: A Case Study of Tien Riverbank in Cai Be district, Tien Giang Province, Vietnam*, Iraqi Geological Journal, Vol. 57, No. 1E, 72-90, 2024.

Ngoc Binh Vu, Minh Ngoc Do , Nu Nguyen Thi, and Lanh Si Ho, *Effects of additives on the results of improving peat soil: A case study at Mekong delta in Vietnam*, Journal of Applied Science and Engineering, 799-807, 2022.

Do Minh Ngoc, Nguyen Thi Nu, Do Minh Toan, and Bui Truong Son, *Study on Soft Ground Structure in The Mekong Delta Coastal Province, Viet Nam for Embankment Construction*, Journal of Applied Science and Engineering, Vol. 24, No 3, page 307-314, 2021.

Pham Minh Tuan, Pham Van Hung, Nguyen Duc Duy, Nguyen Tung Duong, *Numerical Investigation of Load Transfer in Geosynthetic-Reinforced Embankments Over Cavities: Effects of Opening Process and Cyclic Loading*, Geotechnical and Geological Engineering, 42, 7287-7306, 2024

Pham Van Hung and Dias Daniel, *3D numerical modelling of a piled embankment under cyclic loading*, International Journal of Geomechanics, 19, 4, 04019010 (1-15), 2019.

Research on the stability of riverbank retaining walls under the influence of water pressure and surface loads

Tran Tuan Minh[1,2]*, Dang Trung Thanh[1], Nguyen Duyen Phong[1]

[1]*Hanoi University of Mining and Geology*

[2]*Group of Geotechnical Engineering, Construction Materials and Sustainability (GEMS)*

**Corresponding author: Email: trantuanminh@humg.edu.vn; tuanminhhumg@yahoo.com*

Abstract

Retaining walls on river slopes are necessary to protect the riverbank as well as the structures behind it, especially in riverbank areas where strong water currents erode the soil and reduce the durability of the riverbank. In addition, in river and riverbank areas adjacent to urban residential zones, it is necessary to construct embankments and retaining walls to prevent erosion and ensure safety. However, the stability of riverbanks retaining wall depends on various factors, such as the physical properties of the local soil, changes in flow, fluctuations in river water level, the properties of the retaining wall materials, the load on the surface, as well as other external conditions. On the other hand, numerical methods are increasingly being used to analyze the stability of structures, as they offer the advantage of simultaneously considering multiple factors that affect the working process. This paper presents a study on the stability of riverbank retaining walls, considering changes in river water levels and additional loads on the ground surface using numerical software. The results show that river water level and surcharge loads have a linear effect on the stability of the retaining wall: as the load increases and the river water level rises, the displacement at the top of the wall also increases. However, under the specific conditions considered-when the river water level is 4.5 m and the maximum load applied is 100 kN/m^2 -the riverbank retaining wall remains stable.

Keywords: Riverbank, retaining wall, surcharge load, stability, water pressure.

THE EFFECTS OF WATER ENVIRONMENT ON STABILITY OF RIVER BANKS - CASE STUDY IN THE MEKONG DELTA

Le Hoang[1*], Le Thi Anh Hong[1], Le Gia Lam[1], Do Hung Thoi[1], Tran Le Gia Tan[2], and Pham Van Cu[3]

[1]Can Tho University of Technology, Can Tho City

[2]College of Engineering, Can Tho University, Can Tho City

[3]Can Tho University of Medicine and Pharmacy, Can Tho City

**Corresponding author: Email: lhoang@ctuet.edu.vn*

Abstract

This paper investigates soil strength and slope stability of river banks under different water conditions. Shear strength is represented by cohesion (c) and internal friction angle (φ). These parameters were applied in slope stability analysis. The results show that shear strength decreases significantly as water content increases, especially when the soil becomes fully saturated. Shear strength is expressed through the cohesion (c) and internal friction angle (φ). Laboratory tests show that when the moisture content rises from 32 % to 76 %, c falls from 15.1 kPa to 6.78 kPa, φ drops from 20.3° to 4.6°, and the unconfined compressive strength decreases from 225 kPa to 6.8 kPa. Finite-element modelling with PLAXIS 2D further indicates that the slope's factor of safety declines from 1.86 to below 1.0 as the soil becomes fully saturated. Tidal fluctuations and seasonal rainfall in the Mekong Delta are the main triggers for slope failures that typically occur at the end of the wet season or shortly after river levels fall. Furthermore, soil strength in terms of axial compressive strength is able to be reduced by about 5 to 10 times when water conditions change. Consequently, the safety factor of slopes also decreases significantly. In fact, this study's distribution may increase the prediction that water tide in the Mekong Delta is vary several meters and it is a half year for the rainy season and a half year for the sunny season in this region. This explains the phenomenon of slope failure in the Mekong Delta where slope failure typically occurs in the rainy season and/or after water level starts to decrease.

Keyworks: Soil strength, water change, unsaturated soil, slope safety factor, slope modelling.

Introduction

Riverbank erosion and slope failures are major concerns in the Mekong Delta region of Vietnam, posing both geotechnical challenges and socio-economic risks. The alluvial river banks along the Mekong's channels are prone to collapse, threatening nearby communities and infrastructure. Many factors affect riverbank slope stability in the Mekong Delta. Loads from buildings and infrastructure near the riverbank increase stresses in the underlying soil, which may cause slope failure. Excavation activities such as sand mining or dredging at the bank toe remove lateral support. Over-exploitation of river sand has been identified as a major cause of frequent slope collapses in the delta. Natural triggers also play a major role: intense or prolonged rainfall infiltration elevates pore-water pressures in the soil, weakening the bank and often leading to slope failure (a mechanism widely observed in tropical deltas). In addition, hydraulic forces continuously erode the banks; strong river currents and wave action (including boat-induced waves) attack the toe of slopes, undercutting the base and accelerating mass failure. These factors - loading, excavation, rainfall, and toe erosion - are commonly cited as causes of Mekong Delta riverbank instability. (Pilarczyk, 2004). One aspect that remains insufficiently studied is the effect of water-level fluctuations, especially tidal cycles and seasonal river stage changes, on riverbank soil strength and stability in the Mekong Delta. The delta's lower reaches experience daily tides and significant seasonal flow variations, which subject the banks to alternating periods of saturation and drawdown. Notably, bank failures have been observed even during the dry season when river levels fall rapidly. Many causes have been considered, such as loading, erosion,

excavation, etc. However, the change of soil strength due to the effect of changing water tide has not been much researched in the Mekong Delta.

It is well documented that soil shear strength highly depends on moisture content (Bláhová et al., 2013). As a cohesive soil becomes more saturated with water, its strength parameters degrade - both the effective cohesion and the internal friction angle decrease, resulting in a lower overall shear strength (Ma et al., 2023). In other words, wet clay is substantially weaker than the same clay in a drier state. Numerous laboratory studies have confirmed this behaviour, a fundamental concept in soil mechanics. Therefore, investigating the soil strength under different moisture conditions is key to understanding riverbank failures in water-rich environments like the Mekong Delta, where banks are frequently subjected to changes in water content. Shear strength of soil is changed when the water content or moisture is different, as researched by many researchers (Bláhová et al., 2013; Blaaban et al., 2019; Garcia et al., 2012; Dafalla, 2013; Zydron & Dabrowska, 2012).

This study examined soil strength in the Mekong Delta due to changing water content. The soil was taken from the site at 2 to 5m depth. The laboratory experiments are the unconfined compression test and the direct shear test. The strength of the unconfined compressive strength was determined for each soil water condition. Similarly, the direct shear test figured out shear strength parameters including cohesion and friction angle. Additionally, using PLAXIS 2D to model a typical river bank slope under different soil moisture conditions, finite-element simulations were performed. In the simulations, the soil's strength parameters were adjusted according to the laboratory-measured strength-water content relationship, allowing us to analyse the slope's safety factor under dry, partially saturated, and nearly saturated states.

Methodology

The Mekong Delta (MD) surface soils are predominantly weak alluvial deposits with a loose fabric, large void ratio, and a naturally high degree of saturation. Under ordinary river stages, these soils are only partially saturated. However, water readily infiltrates the upper layers during prolonged rainfall or when tidal levels rise, quickly bringing them to full saturation. This transition eliminates matric suction, lowers effective cohesion, and severely reduces the soil's shear resistance.

According to soil mechanics theory, interparticle bonds are broken or weakened as moisture content increases—especially in clay and clayey silt—because water replaces the physical bonds. This effect is clearly reflected in mechanical indices such as cohesion (c), internal friction angle (φ), and unconfined compressive strength (qu). (Yin *et al.*,2021) found that in K0-consolidated clay, increasing water content from 20% to over 40% reduced both cohesion (c) and friction angle (φ) by about 40-60%.

To verify this behaviour in the Mekong Delta, soil samples were taken from 2-5 m depth on a riverbank slope. Two laboratory tests were performed: (i) a Direct Shear Test (DST) to determine c and φ, and (ii) according to ASTM 3080-00 and Unconfined Compression Test (UCT) to determine q_u. The DST based on ASTM 1633-00 was used to obtain the shear parameters of cohesion and internal friction angle. Each experiment was conducted on three samples. The soil samples were soaked at different water levels until full saturation was reached. Cohesion (c) and friction angle (φ) were then re-measured using the direct shear test (Figure 1), following the same procedure as in the natural state.

The laboratory data were used to simulate river bank slopes to investigate slope stabilities according to changes of water content. The study procedure and river cross section are shown in Figure 2 and 3.

Figure 1. Direct shear test

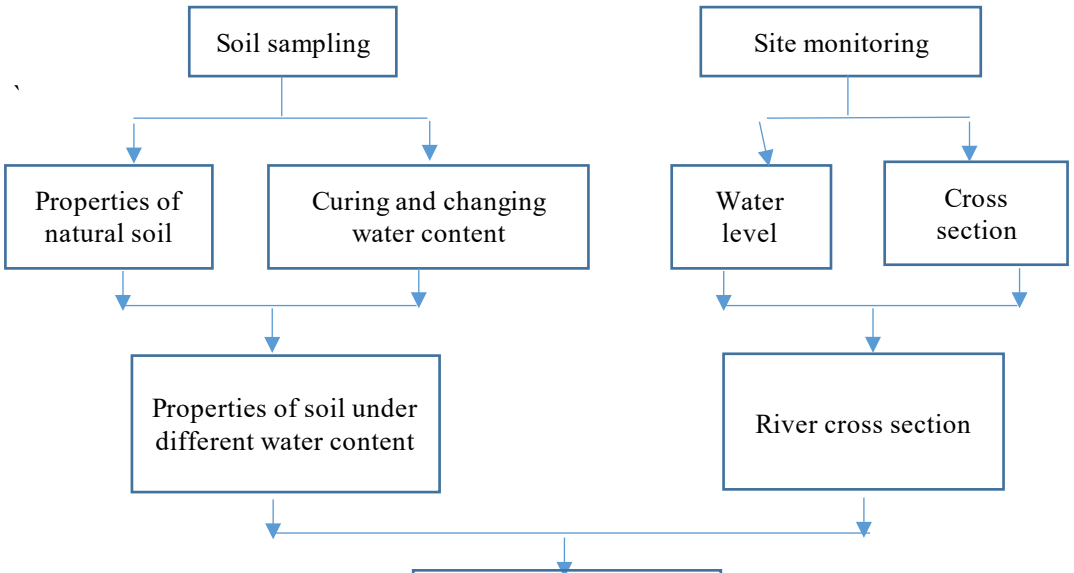


Figure 2. Study procedure

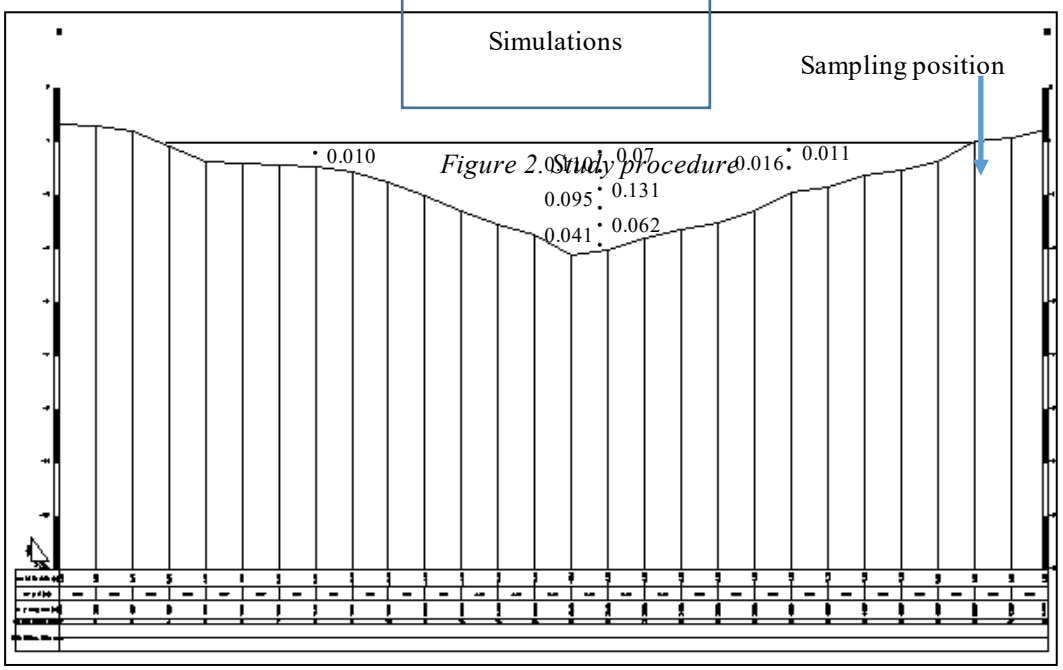


Figure 3. River cross section and sampling position

Results and discussion

Change of soil strength

Data in Table 1 present the properties of natural soil. Specifically, various water contents effect on the soil properties as shown on Table 2. Summarized results on Table 3 reveal a pronounced decline in strength as the degree of saturation increases. When saturation rises from 26.3 % to 100 %, the measured cohesion drops from 15.10 kPa to 6.78 kPa, presenting a reduction of more than 55 %. At the same time, the internal friction angle, φ, falls from 20.3° to 4.6°, representing a loss exceeding 75 %. Because c and φ govern shear resistance, these values show that saturated Mekong Delta clay retains almost no internal friction capacity.

Table 1. *Properties of natural soil*

Characteristics	Symbol	Unit	Natural soil			
			Sample 1	Sample 2	Sample 3	Average
Water content	w	%	74.5	77.4	75.6	75.8
Cohesion	c	kPa	6.7	6.3	7.3	6.8
Friction angle	φ	degree	4.5	4.2	5.2	4.6
Unconfined compressive strength	q_u	kPa	6.7	6.3	7.4	6.8

Table 2. *Soil properties for different water content conditions*

Characteristics	Symbol	Unit	Case 1			Case 2			Case 3		
			Sample			Sample			Sample		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
Water content	w	%	74.5	77.4	75.6	48	46.1	47.3	33.1	32.4	30.6
Cohesion	c	kPa	6.7	6.3	7.3	8.7	10	9	13.2	15.4	16.3
Friction angle	φ	degree	4.5	4.2	5.2	8.8	10.8	9.5	18.8	19.5	22.5
Unconfined compressive strength	q_u	kPa	6.7	6.3	7.4	63	76	68	200	230	245

Table 3. *Soil strength parameters with different water content*

Characteristics	Symbol	Unit	Water content w (%)			
			76	54	47	32
Saturation degrees		%	100	68.5	61.9	26.3
Cohesion	c	kPa	6.8	7.7	9.20	15.10
Friction angle	φ	degree	4.6	6.2	9.7	20.3
Unconfined compressive strength	q_u	kPa	6.8	23.6	69	225

Figures 4 and 5 summarise the test results, confirming that the soil has very weak shear resistance. Under natural conditions with a water content of 54 %, the soil maintains moderate strength, with cohesion of 6.8 kPa due to matric suction and an internal friction angle of $\varphi = 6.0°$, typical of local soft clay. The unconfined compressive strength qu reaches 23.6 kPa, sufficient to ensure slope stability in the absence of additional hydrological loading.

The unconfined compressive strength qu is highly sensitive to water content. In the dry state (w = 32 %), q_u reaches 225.0 kPa, but under full saturation (w = 76 %) it drops to only 6.8 kPa, a reduction of about 30 times. This indicates that when pores are filled and inter-particle bonds are

destroyed, the soil becomes virtually incapable of resisting compressive stress. Similar observations were reported by Yilmaz et al. (2019), who documented up to an 80 % decline in qu beyond the optimum water content, and by Mburu et al. (2022), who also showed that the safety factor (FS) for slopes in saturated clay can fall below unity, indicating loss of stability.

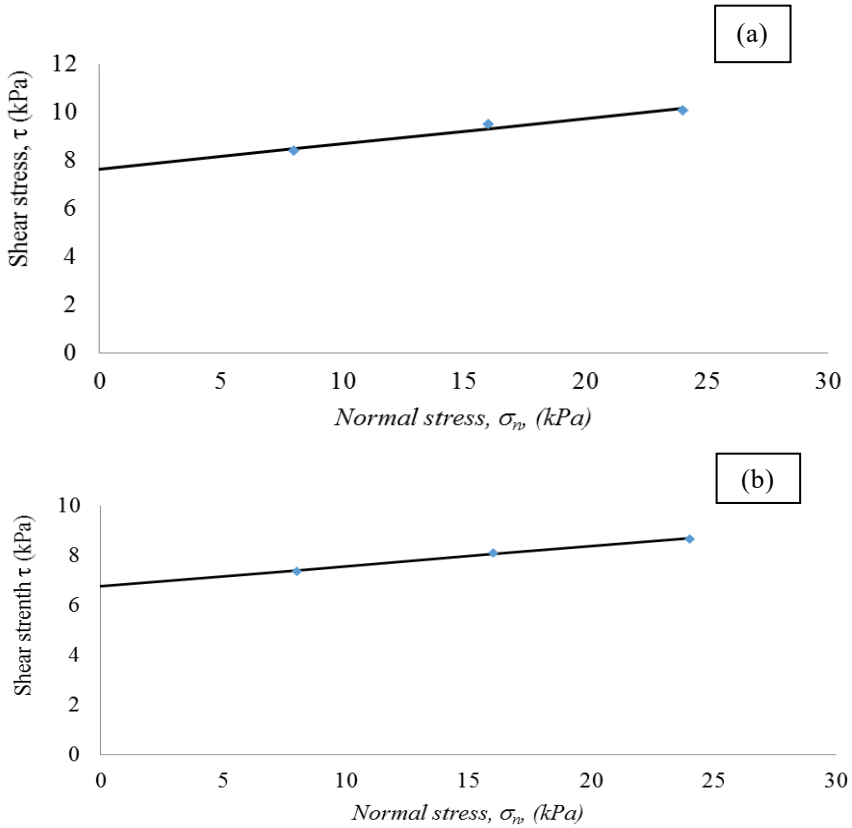
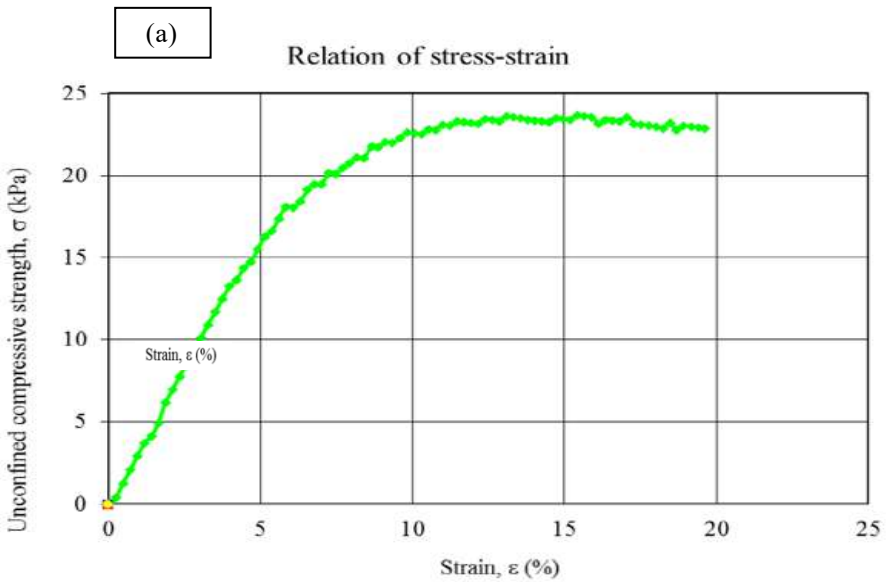


Figure 4. Direct shear test results for natural soil at water contents of 54% (a) and 76% (b).



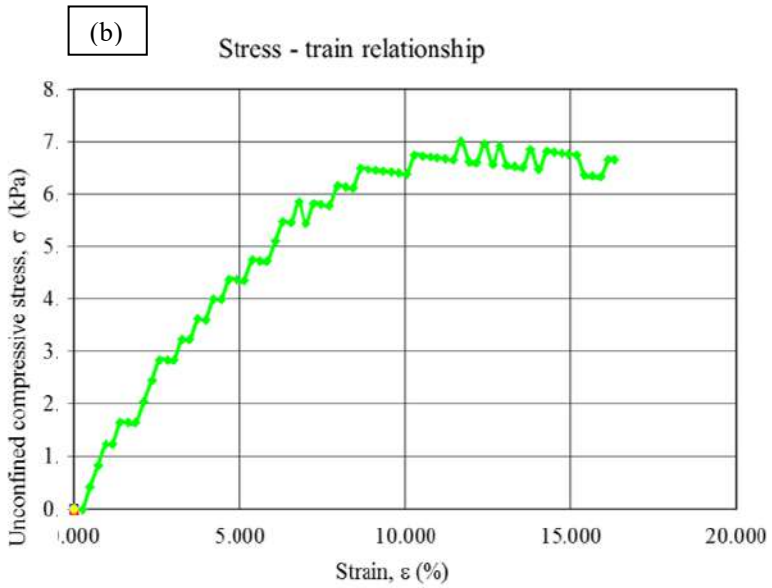


Figure 5. Unconfined compressive test results at water contents of 54% (a) and 76% (b).

At full saturation, not only does qu decrease sharply, but the internal friction angle also falls from 6.0° to 4.6°, indicating a significant reduction in shear resistance. Although cohesion remains nearly unchanged at around 6.8 kPa, the combined loss of compressive and shear strength highlights the severe weakening of the soil upon saturation, a critical factor that lowers the safety factor and increases the risk of slope failure during the rainy season or when river levels rise.

Overall, the strength-moisture relationship is highly nonlinear and accelerates once saturation exceeds about 50-70 %. This behaviour is particularly critical in the Mekong Delta, where naturally weak foundations are frequently subjected to tides, storm surges, and heavy rainfall. Therefore, moisture variation must be explicitly included in slope-stability design, inspection, and numerical modelling, especially under current climate-change and sea-level-rise scenarios.

Slope analysis for changing shear strength parameters

To quantify the effect of strength degradation on river-bank safety, laboratory parameters were incorporated into a finite-element model of a typical Mekong-Delta slope using PLAXIS 2D. This platform allows explicit simulation of unsaturated-to-saturated transitions and progressive failure development. Material properties for each stratigraphic layer were assigned from the Direct-Shear and UCT test results (Table 4). The upper soils received moisture-dependent strength and stiffness values, while deeper layers retained constant properties. Unsaturated behaviour was captured with a Mohr-Coulomb model augmented by suction-related strength reduction. A movable phreatic surface reproduced tidal rise and seasonal flooding, generating realistic pore-pressure distributions along the slope. Safety factor is defined as the ratio of shear strength at the current condition with the cohesion and friction angle inputted and the shear strength at critical stage with the cohesion and friction angle at the equilibrium condition. In PLAXIS 2D, the cohesion and friction angle are reduced in the same proportion to get the equilibrium condition, therefore, the safety factor can be written as below

$$Safety\ fator = \frac{c}{c_r} = \frac{\tan\varphi}{\tan\varphi_r}$$

Two moisture scenarios were analysed. In the partially saturated state (w ≈ 54 %), cohesion c = 6.8 kPa, friction angle φ = 6.0°, and unconfined strength q_u is 23.6 kPa were applied; in the fully saturated state (w ≈ 76 %), c = 6.78 kPa, φ = 4.6°, and q_u is 6.8 kPa. Strength-reduction analysis yielded the global safety factor and revealed the critical slip surface for each condition, illustrating how saturation sharply lowers stability and deepens the failure mechanism.

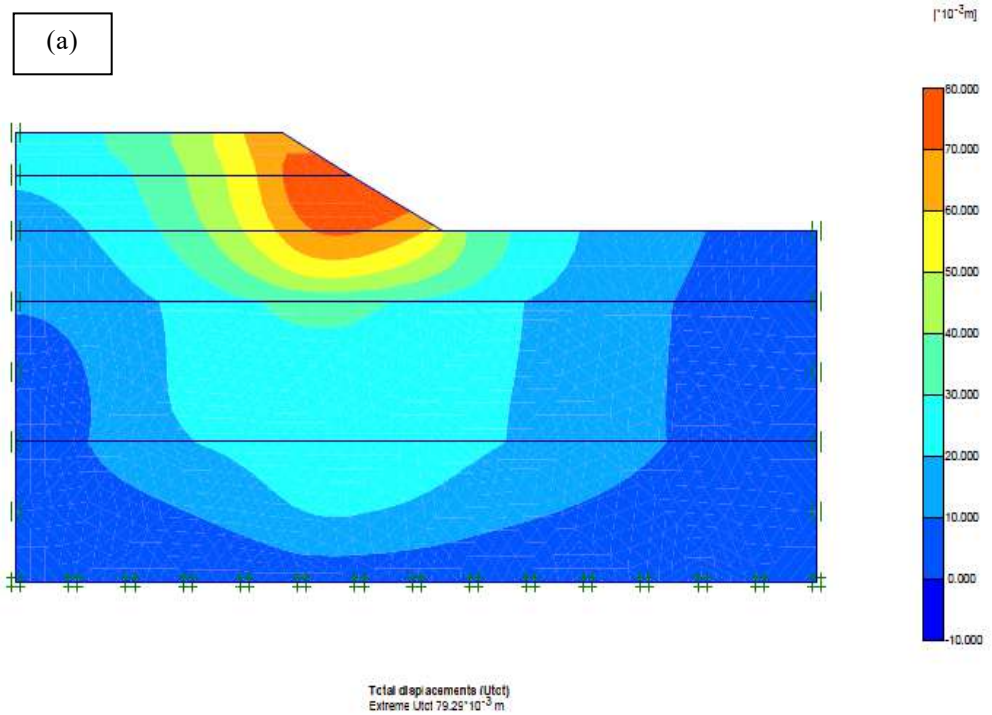
Table 4. *Soil parameters for stability analyses*

Characteristics	Symbol	Unit	Water content (w = %)			
			76	**54**	**47**	**32**
Modulus	E	kPa	102	345	5000	8333
Cohesion	c	kPa	6,78	7,68	9.2	15.1
Friction angle	φ	degree	4.6	6.0	9.7	20,3

In the baseline condition (w ≈ 32~54 %), the finite-element model predicts only modest movement of the riverbank. As shown in Figure 6a, for the reference stage (w = 32 %), the calculated factor of safety (FS) is 1.86, and the maximum lateral displacement is about 80 mm, indicating a comfortably stable slope. As moisture rises, strength degradation becomes evident: at w = 47 % the FS falls to 1.42, yet the bank still behaves acceptably with no large deformation; by w = 54 % the FS has dropped to 0.87 and the bank is on the verge of failure, although displacements remain of the order of decimeters (Fig. 4a).

When the upper soils reach full saturation (w = 76 %), shear strength decreases to the point that the Mohr-Coulomb strength-reduction analysis cannot maintain equilibrium. The model shows a runaway displacement of roughly 3 m (Fig. 6b), and the factor of safety plunges below unity (FS < 1.0). The predicted failure surface intercepts the riverbed, producing a deep-seated slide that mirrors the retrogressive failures observed in the field after heavy rainfall or tidal inundation.

Finally, Figure 6 condenses these findings: FS = 1.86 at w = 32 % (very stable); FS = 1.42 at w = 47 % (marginally stable); FS = 0.87 at w = 54 % (dangerously close to failure); and FS < 1.0 at w = 76 % (complete instability). The trend highlights the pivotal role of moisture in governing river-bank safety and emphasises that once saturation exceeds roughly 60-70 %, a slight additional rise in water content can trigger catastrophic collapse.



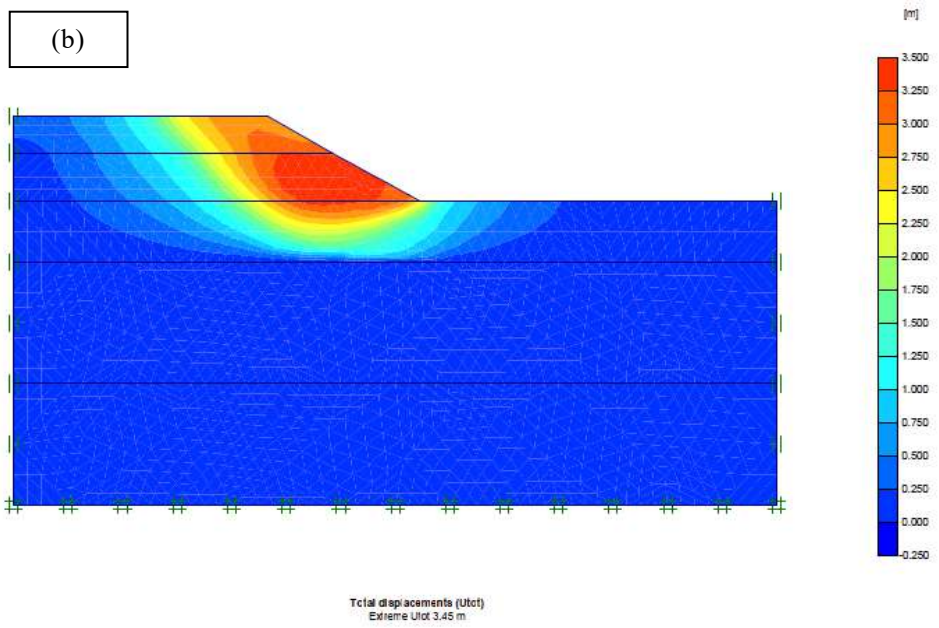


Figure 6. Displacement analysis at water contents of 54% (a) and 74% (b).

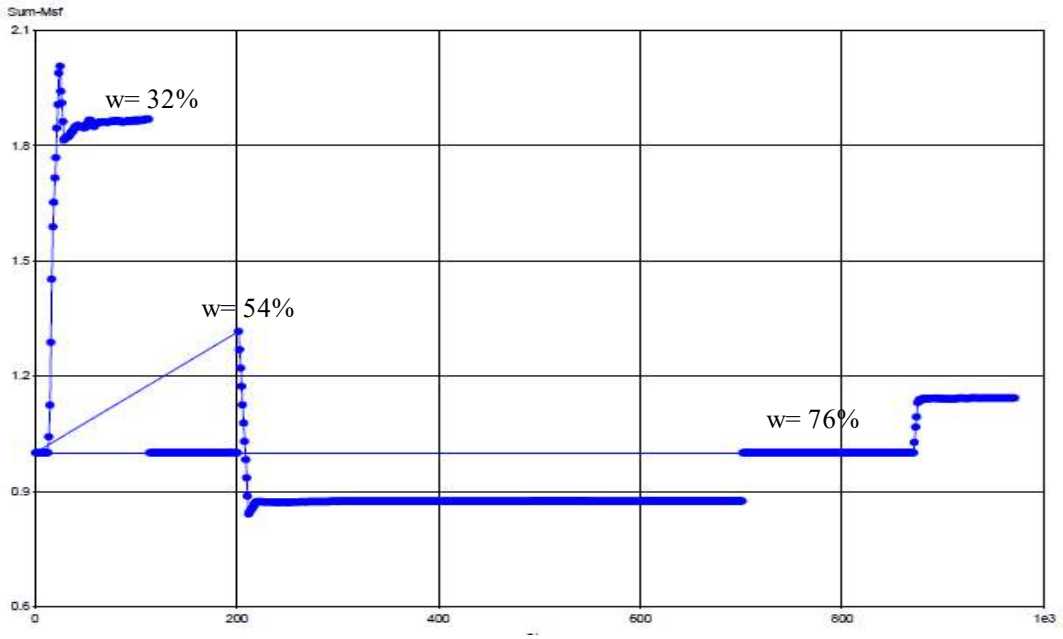


Figure 7. Safety factor analyses for different water conditions.

The foregoing results confirm that rising water content affects not only the soil's shear strength but also the deformation pattern and overall stability of the riverbank slope. Once the moisture ratio exceeds about 54-76 %, the factor of safety (FS) declines steeply and reaches values below 1.0, signalling imminent failure (Fig. 7). This rapid drop in FS should be treated as an early-warning threshold for slope-instability monitoring programs across the Mekong Delta.

Discussion

The laboratory evidence highlights the extreme sensitivity of Mekong Delta clay to moisture variation. At the dry state ($w \approx 32$ %), the unconfined compressive strength (qu) reached 225 kPa; however, under full saturation ($w \approx 76$ %) it collapsed to only 6.8 kPa—representing a thirty-three-fold reduction. This dramatic contrast illustrates the loss of inter-particle bonding, leaving the soil nearly incapable of resisting even light overburden pressures, thereby making riverbanks highly prone to failure under saturated conditions.

Shear-strength parameters deteriorated in parallel. Cohesion decreased from 15.1 kPa to 6.78 kPa, while the internal friction angle declined sharply from 20.3° to 4.6°. Comparatively, the reduction in friction angle plays a more decisive role in stability loss, since it controls dilatant resistance. Beyond about 60 % saturation, the friction angle fell disproportionately, indicating a strongly nonlinear relationship between moisture and shear capacity. Any realistic design model for riverbank protection must therefore capture this nonlinearity rather than assume linear degradation.

Finite-element strength-reduction analysis in PLAXIS 2D translated these laboratory findings into slope-scale behavior. Under dry field conditions ($w \approx 32$ %), the computed FS was 1.86 with lateral displacements < 0.1 m, confirming stability. At intermediate moisture ($w \approx 47$ %), FS dropped to 1.42, and at $w \approx 54$ % it fell below unity (0.87), accompanied by a deeper slip surface—signaling imminent failure. At full saturation ($w \approx 76$ %), FS dropped below 1.0 and displacements approached 3 m, indicating global collapse. The contrast between these stages highlights 60-70 % saturation as a critical threshold for failure initiation.

From an engineering perspective, the results provide a quantitative foundation for remedial design. Countermeasures such as surface and subsurface drainage systems, toe or sheet-pile retaining structures, and in-situ ground improvement (e.g., cementitious stabilization, geosynthetics) are required to maintain the factor of safety (FS) above 1.3 even under adverse hydro-climatic conditions. The integration of continuous soil-moisture sensing with real-time stability assessment emerges as a critical component for early warning, enabling timely interventions and ensuring safety margins in this highly vulnerable setting.

Moisture content is therefore identified as the primary triggering factor of riverbank instability in the Mekong Delta. Early-warning systems should prioritize the monitoring of pore-water pressure or in-situ water content and treat the 60-70 % range as a "red-alert" zone. In practice, drainage improvements, toe protection, and ground reinforcement using cementitious binders or geosynthetics should aim to keep $FS \geq 1.3$, even under extreme rainfall or tidal events intensified by climate change.

Nonetheless, the present study is constrained to two-dimensional models and static loading conditions. In reality, three-dimensional geometries, cyclic wetting-drying, and long-term creep may significantly alter slope behavior. A comparison between numerical predictions and field measurements (tensiometers, inclinometers, remote sensing) is essential for future refinement. Expanding the scope to capture these processes will improve the accuracy of strength-moisture thresholds and support more resilient river-management strategies for the increasingly fragile delta banks.

Conclusions

This study integrated systematic laboratory testing with two-dimensional finite-element modelling to elucidate how moisture variation controls the mechanical behaviour of weak alluvial clays and the stability of riverbank slopes in the Mekong Delta. The findings demonstrate that fluctuations in groundwater levels are a decisive factor in triggering instability. As the water table rises and soils approach saturation, both compressive and shear strength parameters deteriorate sharply: unconfined compressive strength falls by more than an order of magnitude, cohesion reduces markedly, and the internal friction angle collapses once saturation exceeds the critical threshold of 60-70 %. These degradations translate directly into reductions in the factor of safety, which decreases from stable levels (>1.8) under dry conditions to below unity at full saturation, signalling the onset of large-scale slope failure.

Accordingly, groundwater variations must be recognised as the primary driver of riverbank failure in this region. Effective management should prioritise the control of subsurface water regimes—through drainage, toe protection, and ground improvement—so as to maintain $FS \geq 1.3$ even under extreme hydrological events. Real-time monitoring of pore-water pressure and

groundwater fluctuations is equally essential to anticipate failure and ensure adequate safety margins for the delta's highly vulnerable banks.

Finally, the scope of this study was limited to two-dimensional analyses and static loading conditions. Future research should extend to three-dimensional geometries, cyclic wetting-drying, and long-term creep, and should be validated with field data from tensiometers, inclinometers, and remote sensing. Such developments will refine the strength-moisture thresholds identified here and underpin more resilient riverbank management strategies for the increasingly fragile landscapes of the Mekong Delta.

References

Pilarczyk, K. W, 2004. *Bank erosion in the Mekong Delta and Red River*. Delft: HYDROpil Consultancy. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/ 294892187_Bank_erosion_ Mekong_Delta_and_Red_

Bláhová, K., Ševelová, L., & Pilařová, P, 2013. Influence of water content on the shear strength parameters of clayey soil in relation to stability analysis of a hillside in Brno region. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, 61*(6), 1583-1588. https://doi.org/10.11118/ actaun201361061583

Ma, S., Yao, Y., Bao, P., & Guo, C, 2023. Effects of moisture content on strength and compression properties of foundation soils of cultural relics in areas flooded by the Yellow River. *Frontiers in Materials, 10,* 1186750. https://doi.org/10.3389/fmats.2023.1186750

Blaaban, E., Smejda, A., & Onur, M, 2019. An experimental study on shear strength behavior of soil under low confining pressure. In *Proceedings of the 4th World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering*. https://doi.org/10.11159/icgre19.110

Garcia, A. J. H., Jaime, Y. N. M., Contreras, Z. Z., Bastardo, L. D. S., & Llovera, F. A. S 2012. Savanna soil water content effect on its shear strength-compaction relationship. *Revista Científica UDO Agrícola, 12*(2), 324-337. Retrieved from https://utoronto.scholaris.ca/items/56ac89b5-1fd9-4e06-bd1a-3c7bb7cbb354

Dafalla, M. A, 2013. Effects of clay and moisture content on direct shear tests for clay-sand mixtures. *Advances in Materials Science and Engineering, 2013,* 562726. https://doi.org/10.1155/2013/562726

Zydron, T., & Dabrowska, J, 2012. The influence of moisture content on shear strength of cohesive soils from the landslide area around Gorlice. *AGH Journal of Mining and Geoengineering, 36*(2), 1-9. https://doi.org/10.35117/A_ENG_17_05_02

Yin, J., Zhang, K., Geng, W., Gaamom, A., & Xiao, J, 2021. Effect of initial water content on undrained shear strength of K0 consolidated clay. *Soils and Foundations, 61*(5), 1453-1463. https://doi.org/10.1016/j.sandf.2021.08.010

Yilmaz, Y., Eun, J., Panahi, S. S., & Mousavi, M. S, 2019. Effects of height-to-diameter ratio (H/D) for specimens with various water contents on unconfined compressive strength of a clayey soil. *Engineering Geology, 257,* 105136. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.05.013

Mburu, J. W., Li, A.-J., Lin, H.-D., & Lu, C.-W, 2022. Investigations of unsaturated slopes subjected to rainfall infiltration using numerical approaches: A parametric study and comparative review. *Sustainability, 14*(21), 14465. https://doi.org/10.3390/su142114465

MỘT THỬ NGHIỆM KẾT CẤU MẶT ĐƯỜNG BẰNG BÊ TÔNG HẠT NHỎ SỬ DỤNG CÁT NHIỄM MẶN Ở KHU CÔNG NGHIỆP DUNG QUẤT

Lê Thu Trang[1], Thái Minh Quân[1], Nguyễn Thanh Sang*[1]

[1]Trường Đại học Giao thông vận tải

**Tác giả liên hệ: Email: nguyenthanhsang@utc.edu.vn*

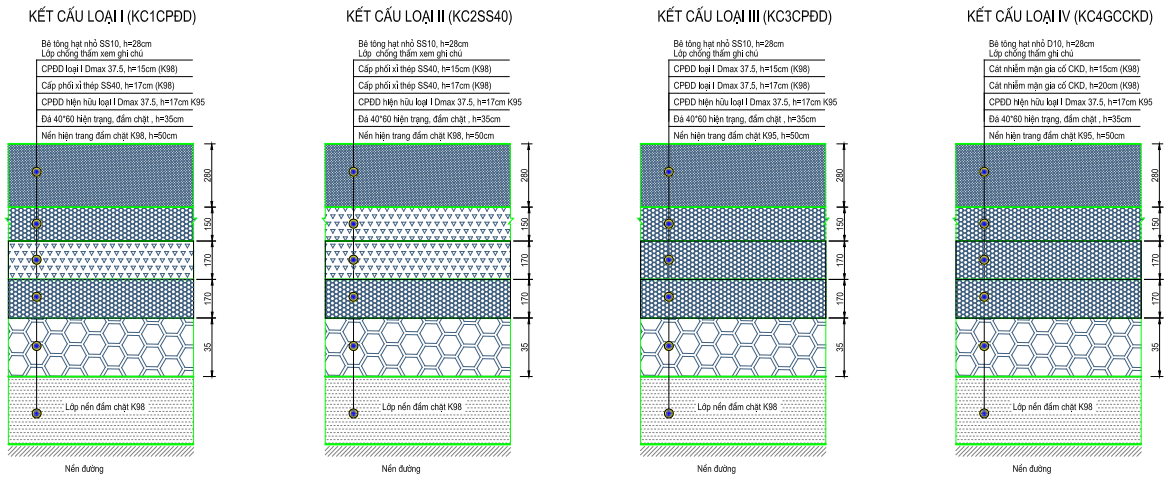
Tóm tắt

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm đối với kết cấu mặt đường bằng bê tông hạt nhỏ ở khu công nghiệp Dung Quất. Ứng suất bất lợi của tấm bê tông hạt nhỏ trong kết cấu mặt đường dưới tác dụng đồng thời của tải trọng nặng và nhiệt độ được tính toán. Kết quả tính toán với kết cấu đề xuất cho thấy kết cấu mặt đường có thể đảm bảo chịu đồng thời tải trọng nặng và ứng suất do nhiệt của kết cấu mặt đường bê tông hạt nhỏ.

Từ khóa: Kết cấu mặt đường, cát nhiễm mặt, Dung Quất.

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, việc sử dụng bê tông xi măng ngày càng nhiều do tốc độ tăng dân số và phát triển cơ sở hạ tầng *(Melta, 2017)* cũng đã tính toán rằng có khoảng 18 tỷ tấn bê tông mỗi năm vào năm 2050. Ở Việt Nam mỗi năm lượng bê tông cần tiêu thụ vào khoảng 167 triệu tấn *(Nguyễn, 2017),* tương đương với tỷ lệ 1,5 m^3/người và còn cao hơn so với tỷ lệ sử dụng bê tông trên thế giới 1,0 m^3/người. Cát nhiễm mặn và cát mịn trên thế giới rất phong phú ở nhiều vùng và chưa được sử dụng phổ biến làm cốt liệu cho bê tông hạt nhỏ. Ở Việt Nam trữ lượng cát nhiễm mặn là rất lớn, đặc biệt ở một số tỉnh duyên hải Miền Trung, tính riêng Quảng Bình có trữ lượng cát nhiễm mặn vào khoảng 61 tỷ m^3, và hiện nay chưa được nghiên cứu sử dụng cho làm cốt liệu cho bê tông. Thêm nữa trên thế giới, cũng như ở Việt Nam có nhiều chất thải công nghiệp như tro bay, xỉ lò cao, xỉ thép được tái sử dụng để chế tạo bê tông xi măng, trong đó có bê tông hạt nhỏ. Theo quy hoạch phát triển GTVT đường bộ Việt Nam đến năm 2020 và định hướng đến 2030 cần xây dựng 1600km đường cao tốc, nâng cấp QL1, đường Hồ Chí Minh cần kinh phí cũng như khối lượng vật liệu rất lớn *(Quy hoạch, 2013)*. Các dạng kết cấu mặt đường mới cần được đưa vào sử dụng để làm phong phú thêm sự lựa chọn cho nhà thầu. Theo nghiên cứu của *(Zdiri, 2009)* các loại cát nhiễm mặn như cát nạo vét từ luồng lạch, cát nạo vét biển cũng được nghiên cứu và ứng dụng trong bê tông đầm lăn có cường độ chịu nén và cường độ kéo uốn có thể đáp ứng được các yêu cầu trong kỹ thuật đường bộ. Trong thành phần của bê tông hạt nhỏ có thể dùng thêm cốt liệu xỉ thép từ nhà máy sản xuất gang thép, để cải thiện đặc tính cơ học cũng như khả năng chịu kéo của bê tông hạt nhỏ làm đường *(Westergaard, 1926)*. *(Wang, 2020)* cho rằng cốt liệu xỉ thép có góc cạnh tốt làm tăng tính chống mài mòn, nên sẽ góp phần cải thiện độ bền cũng như chống mài mòn cho bê tông mặt đường. Như vậy có thể kết hợp cát nhiễm mặn và xỉ thép làm cốt liệu cho bê tông hạt nhỏ trong xây dựng đường ở Việt Nam, nhất là đối với khu liên hợp sản xuất gang thép Hòa Phát Dung Quất. Ứng suất sinh ra trong tấm bê tông xi măng mặt đường là kết quả của tải trọng và sự thay đổi thể tích của bê tông. Độ lớn của ứng suất này phụ thuộc vào các yếu tố như: mức độ liên tục, cường độ và độ đồng nhất của đất nền, phương pháp xây dựng, quản lý chất lượng xây dựng, độ lớn và vị trí đặt tải trọng *(Griffths, 2007)*. Để đánh giá sự làm việc một cách đầy đủ của kết cấu mặt đường sử dụng bê tông hạt nhỏ, nghiên cứu đã kết hợp sự thay đổi về thành phần của bê tông và sự thay đổi của các lớp móng mặt đường. Kết cấu mặt đường bê tông hạt nhỏ có 04 loại móng mặt đường cơ bản và bê tông hạt nhỏ mặt đường có 07 loại thành phần khác nhau trong nghiên cứu *(Nguyễn, 2021)* là các loại bê tông hạt nhỏ với tỷ lệ cốt liệu nhỏ là cát nhiễm mặn và cốt liệu lớn là xỉ thép SS10 và kết cấu trong Hình 1.



Hình 1. Kết cấu mặt đường bê tông hạt nhỏ đề xuất dùng cho thực nghiệm

Trong các tài liệu nghiên cứu, việc tính toán và thử nghiệm kết cấu mặt đường bê tông hạt nhỏ và mặt đường thông thường chưa được tính toán chi tiết như tính toán mặt đường bê tông xi măng. Bài báo này tính toán chi tiết kết cấu mặt đường bê tông hạt nhỏ theo các tiêu chuẩn hiện hành của AASTHO mà trong ngành giao thông hiện đang sử dụng.

2. Kết quả tính toán thảo luận

2.1 Tính toán ứng suất bất lợi sinh ra trong tấm bê tông hạt nhỏ do tải trọng và nhiệt

Khả năng làm việc của kết cấu mặt đường bê tông hạt nhỏ được tính toán dưới tác dụng của ứng suất bất lợi do tải trọng động gây ra trên đường và ứng suất do gradient nhiệt. Khi bất lợi xảy ra đồng thời làm cho tấm mặt đường có thể bị phá hỏng. Trong nghiên cứu này phân tích trạng thái bất lợi của mặt đường thông qua ứng suất do tổ hợp của tải trọng và ứng suất nhiệt. Các công thức để tính toán bán kính độ cứng tương đối [6], ứng suất kéo uốn ở các vị trí bất lợi, độ võng sinh ra ở các vị trí bất lợi, ứng suất do nhiệt sinh ra ở các vị trí bất lợi được tính toán theo các công thức sau:

$$l = \left(\frac{Eh^3(1-\mu_s^2)}{6E_s(1-\mu^2)} \right)^{1/3} \quad (1)$$

Trong đó:

E: mô đun đàn hồi Young của bê tông (Pa);

h: chiều dày của tấm bê tông (m);

E_s: mô đun đàn hồi của móng cứng (Pa);

μ: hệ số poát xông của bê tông;

μ_s: hệ số poát xông của móng cứng;

k: mô đun phản ứng đất nền (Pa/m).

Lớp từ nền đất đến lớp móng cấp phối xỉ thép SS40 có mô đun đàn hồi của móng cứng tương đương E_s=145,99MPa [8], [9]. Kết quả tính toán theo Ioanides (1985), Huang (2004) là các cải tiến của Wetergaard (1948).

Khi tải trọng tác dụng ở vị trí giữa tấm, ứng suất kéo uốn lớn nhất sinh ra ở mặt đáy của tấm bê tông dưới vị trí tác dụng của tải trọng và độ võng tại vị trí đặt tải:

$$\sigma_i = \frac{0.316P}{h^2}\left[4\log\left(\frac{l}{b}\right) + 1.069\right] \quad (2)$$

$$\Delta_i = \frac{P}{8kl^2}\left\{1 + \frac{1}{2\pi}\left[\ln\left(\frac{a}{2l}\right) - 0.673\right]\left(\frac{a}{l}\right)^2\right\} \quad (3)$$

Trong đó: b = a khi a ≥ 1.724h, $b = \sqrt{1.6a^2 + h^2} - 0.675h$ khi a< 1.724h (4)

l: bán kính độ cứng tương đối (m); a: bán kính vệt bánh xe quy đổi (m); h: chiều dày của tấm bê tông (m);

Khi tải trọng tác dụng ở cạnh tấm, ứng suất kéo uốn lớn nhất sinh ra ở mặt đáy của tấm bê tông ngay dưới vị trí đặt tải trọng và độ võng tương ứng:

$$\sigma_e = \frac{0.803P}{h^2}\left[4\log\left(\frac{l}{a}\right) + 0.666\left(\frac{a}{l}\right) - 0.034\right] \quad (5)$$

$$\Delta_e = \frac{0.431P}{kl^2}\left[1 - 0.82\left(\frac{a}{l}\right)\right] \quad (6)$$

Khi tải trọng tác dụng ở vị trí góc tấm, ứng suất kéo uốn lớn nhất sinh ra ở mặt trên của tấm bê tông và nằm trên đường phân giác của góc tấm đó và độ võng tương ứng:

$$\sigma_c = \frac{3P}{h^2}\left[1 - \left(\frac{1.772a}{l}\right)^{0.72}\right] \quad (7)$$

$$\Delta_c = \frac{P}{kl^2}\left[1.205 - 0.69\left(\frac{1.772a}{l}\right)\right] \quad (8)$$

Ứng suất sinh ra do sự chênh lệch nhiệt độ của mặt trên và mặt dưới tấm do sự oằn lên của tấm khi nhiệt độ chênh giữa mặt và đáy của tấm bê tông. Bradbury đã đưa ra công thức xác định ứng suất ở cạnh của tấm bê tông là:

$$\sigma = \frac{C.E_t.\alpha_t.\Delta t}{2(1-\mu^2)} \quad (9)$$

Trong đó: E_t là mô đun đàn hồi của tấm khi chịu tác dụng của sự chênh lệch nhiệt độ lâu dài (thường lấy bằng 0,6E), α_t: là hệ số giãn nở nhiệt của bê tông xi măng, C hệ số phụ thuộc vào phương của tấm theo biểu đồi Bradbury, μ: là hệ số poát xông của bê tông xi măng hạt nhỏ.

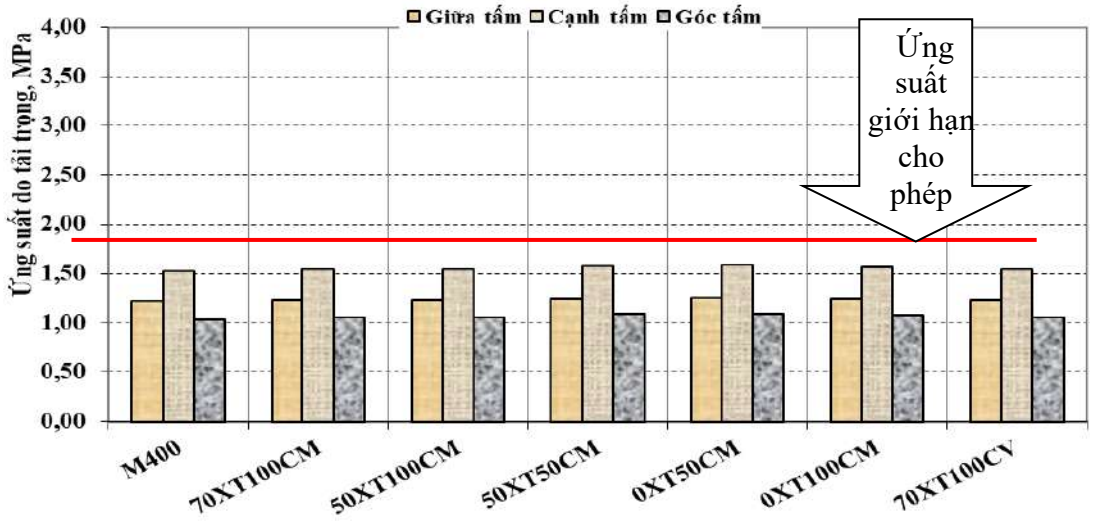
Bảng 1. *Phân tích kết quả tính toán tấm bê tông các loại bê tông hạt nhỏ*

Loại vật liệu kết cấu	Đơn vị	Bê tông xi măng thường M400	Bê tông hạt nhỏ Cát mặn + Xỉ thép với các tỷ lệ					
Các thông số đầu vào		*M400*	*70XT 100CM*	*50XT 100CM*	*50XT 50CM*	*0XT 50CM*	*0XT 100CM*	*70XT 100CV*
Cường độ chịu nén đặc trưng	MPa	40	43,4	42,8	50,2	55,1	41,8	43,0
Cường độ chịu kéo uốn	MPa	5	5,6	8,8	8,8	7,5	9,2	7,9
Mô đun đàn hồi E	MPa	29 000	31 779	31 821	35 891	36 400	34 564	31 236
Hệ số Poát xông		0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Chiều dày tấm BTHN	m	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28

Loại vật liệu kết cấu	Đơn vị	Bê tông xi măng thường M400	Bê tông hạt nhỏ Cát mặn + Xỉ thép với các tỷ lệ					
Các kết quả tính toán								
Bán kính độ cứng tương đối, l	m	0,867	0,894	0,895	0,931	0,936	0,920	0,889
Ứng suất kéo uốn giữa tấm, s_i	MPa	1,22	1,23	1,23	1,25	1,25	1,24	1,23
Ứng suất cạnh tấm, s_e	MPa	1,52	1,55	1,55	1,58	1,59	1,57	1,54
Ứng suất góc tấm, s_c	MPa	1,04	1,06	1,06	1,08	1,09	1,07	1,05
Độ võng sinh ra ở giữa tấm, D_i	mm	0,102	0,096	0,096	0,089	0,088	0,091	0,097
Độ võng sinh ra ở cạnh tấm, D_e	mm	0,403	0,381	0,381	0,354	0,351	0,362	0,385
Độ võng sinh ra ở góc tấm, D_c	mm	1,077	1,021	1,020	0,950	0,942	0,971	1,031
Ứng suất do nhiệt dọc tấm	MPa	1,92	2,11	2,11	2,38	2,41	2,29	2,07
Ứng suất do nhiệt ngang tấm	MPa	1,32	1,45	1,45	1,64	1,66	1,58	1,43
Tổ hợp ứng suất lớn nhất	MPa	3,44	3,65	3,66	3,96	4,00	3,86	3,61

2.2 Phân tích ảnh hưởng của các kết quả tính toán đến khả năng làm việc của tấm mặt đường là bê tông hạt nhỏ các loại

Các kết quả tính toán được trình bày ở Bảng 1 gồm có 07 loại bê tông dự kiến sử dụng cho mặt đường, tương ứng với các chiều dày tấm bê tông 28cm để so sánh các kết quả tính toán và thực nghiệm. Mô đun đàn hồi và hệ số poát xông xác định ở các nghiên cứu *(Nguyễn, 2021)* được đưa vào tính toán. Căn cứ vào kết quả tính toán bán kính độ cứng tương đối (khoảng cách từ tâm đặt tải đến điểm có mô men uốn bằng 0) để tính toán ứng suất cũng như độ võng các vị trí bất lợi như các phân tích ở mục 2.1.

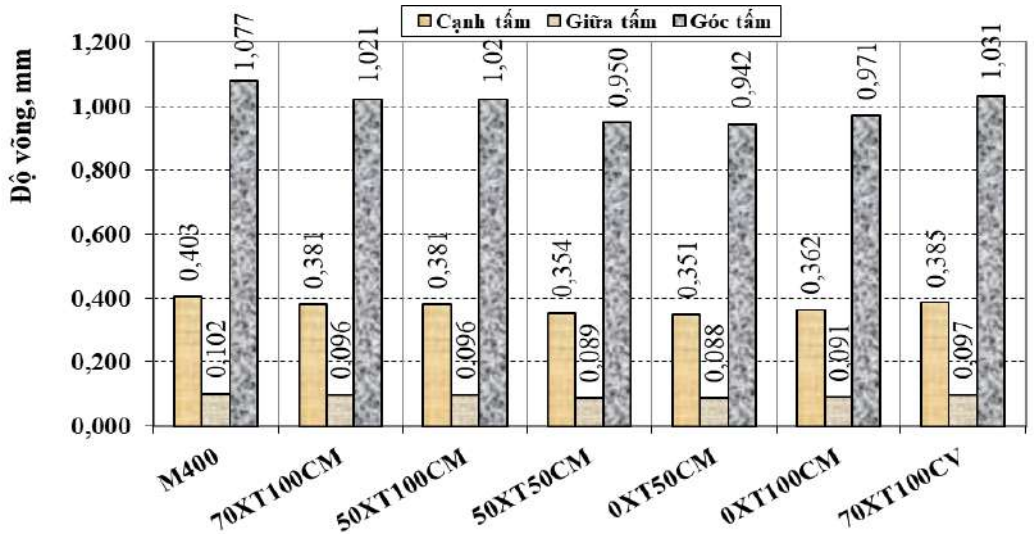


Hình 2. Ứng suất ở các vị trí trong tấm với các bê tông

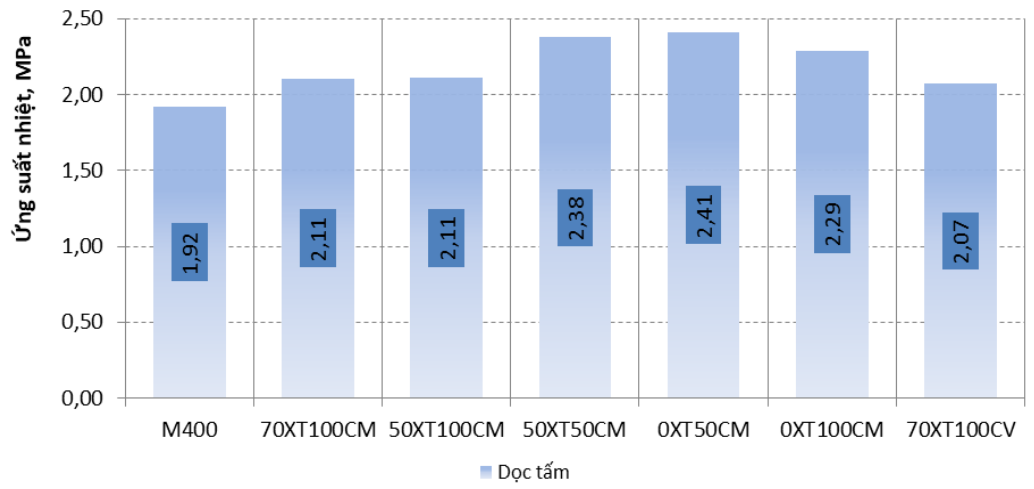
Biểu đồ phân tích ứng suất xuất hiện ở dưới các vị trí đặt tải bất lợi lên tấm bê tông với các loại bê tông khác nhau được thể hiện ở Hình 2 cho thấy rằng ứng suất sẽ xuất hiện lớn nhất khi tải

trọng đặt ở vị trí cạnh tấm. Các giá trị ứng suất này đều thấp hơn giá trị ứng suất giới hạn xuất hiện dưới đáy tấm bê tông thông thường. Giá trị ứng suất xuất hiện dưới đáy tấm khi tải đặt ở cạnh tấm của bê tông hạt nhỏ 70XT100CM, 50XT100CM, 50XT50CM, 0XT50CM, 0XT100CM, 70XT100CV so bê tông thường M400 tương ứng bằng 101,65%, 101,68%, 103,86%, 104,11%, 103,17%, 101,34%. Ứng suất do tải trọng nặng sinh ra đối với các loại bê tông đều nhỏ hơn so với ứng suất bất lợi cho phép tương ứng với cấp bê tông quy định là $0,45R_{ku}$ đối với M400 là 2,25MPa.

Biểu đồ phân tích độ võng ở các vị trí bất lợi đặt tải đối với các loại bê tông khác nhau được thể hiện ở Hình 3 cho thấy rằng độ võng lớn nhất sẽ xuất hiện khi tải trọng đặt ở vị trí góc tấm. Giá trị độ võng xuất hiện dưới đáy tấm khi tải đặt ở góc tấm của bê tông hạt nhỏ 70XT100CM, 50XT100CM, 50XT50CM, 0XT50CM, 0XT100CM, 70XT100CV so bê tông thường M400 tương ứng bằng 94,76%, 94,68%, 88,17%, 87,44%, 90,17%, 95,72%. Độ võng ở các vị trí bất lợi khi đặt tải của bê tông hạt nhỏ đều thấp hơn so với bê tông thường, do vậy để giảm biến dạng của bê tông cần tăng chiều dày tấm, đặc biệt là với bê tông cường độ không cao. Với kết cấu áo đường cụ thể ở Hình 3, để tấm bê tông xi măng thường M400 có cùng độ võng với tấm bê tông hạt nhỏ thì cần tăng chiều dày tấm bê tông xi măng lên khoảng 15%. Hay nói cách khác bê tông hạt nhỏ với cấp phối thích hợp có thể giảm đáng kể biến dạng do tải.



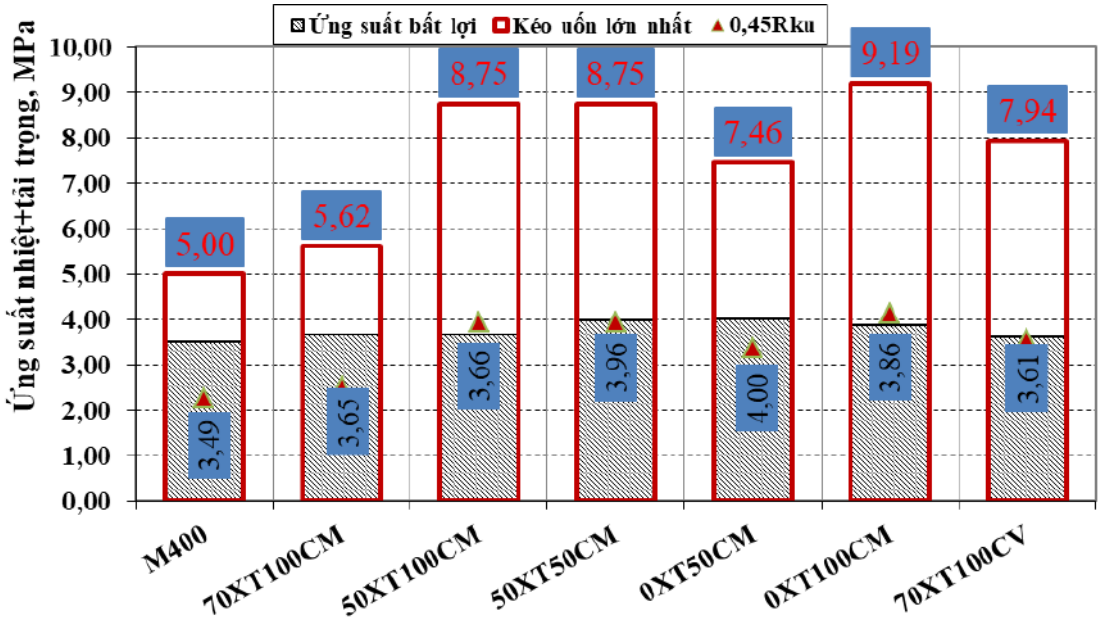
Hình 3. Độ võng ở các vị trí trong tấm bê tông hạt nhỏ các loại



Hình 4. Ứng suất nhiệt dọc tấm trong tấm bê tông hạt nhỏ

Do trị số của ứng suất nhiệt sinh ra dọc tấm cao hơn so phương ngang tấm, nên sử dụng tổ hợp ứng suất nhiệt dọc tấm và ứng suất do tải gây ra cạnh tấm để kiểm toán điều kiện bất lợi. Biểu đồ phân tích ứng suất nhiệt theo phương dọc tấm của bê tông thường và các loại bê tông hạt nhỏ được

trình bày ở Hình 4. Hệ số giãn nở nhiệt của bê tông hạt nhỏ được lấy theo kinh nghiệm của Nga [6] bằng $10*10^{-6}/^{o}C$ để tính toán. Kết quả tính toán ứng suất nhiệt dọc tấm bê tông hạt nhỏ 70XT100CM, 50XT100CM, 50XT50CM, 0XT50CM, 0XT100CM, 70XT100CV bằng 109,58%, 109,73%, 123,76%, 125,52%, 119,18%, 107,71% so với bê tông xi măng thường M400. Như vậy ứng suất nhiệt xuất hiện trong bê tông hạt nhỏ cao hơn so với bê tông xi măng thường M400. Do đó có thể xem xét đến chiều dày của tấm bê tông hạt nhỏ cho phù hợp.



Hình 5. Tổ hợp ứng bất lợi đồng thời do nhiệt và tải trọng gây ra trong tấm bê tông

Kết quả được tính toán trong Bảng 1 và Hình 3 cho thấy rằng ứng suất sẽ xuất hiện bất lợi nhất là ở cạnh tấm khi tải trọng ở vị trí cạnh tấm, và ứng suất xuất hiện do sự chênh lệch nhiệt khá lớn theo phương dọc tấm. Kết quả tác dụng lên tấm bê tông đồng thời của ứng suất nhiệt và ứng suất do tải trọng ở vị trí bất lợi (ở cạnh tấm) được trình bày trong Hình 5. Hơn nữa, kết quả theo các hướng dẫn hiện hành đều cho thấy ứng suất sinh ở vị trí bất lợi đều thấp hơn cường độ kéo uốn giới hạn của bê tông các loại. Nhưng nếu xét về mặt ứng suất nên nhỏ hơn $0,45R_{ku}$ thì có thể thấy rằng, để đáp ứng được yêu cầu trên chỉ có loại 0XT100CM và 50XT100CM. Khi xét về mặt cơ học chưa tính đến các yếu tố về nhiệt, thì các loại bê tông hạt nhỏ và bê tông xi măng thường M400 với lớp móng tương ứng có thể đáp ứng được khả năng chịu tải. Tuy nhiên, yếu tố bất lợi xảy ra khi tổ hợp đồng thời ứng suất do nhiệt và do tải trọng thì nên chọn loại bê tông có cường độ kéo uốn cao, điều này được cải tiến khi sử dụng bê tông hạt nhỏ trong xây dựng đường.

3. Kết luận

Ứng suất bất lợi xuất hiện ở vị trí trung điểm của cạnh tấm bê tông xi măng, kết quả tính toán hoàn toàn phù hợp với việc đo thực tế ở một số dự án trước đây;

Nền cứng (solid foundation) có bán kính độ cứng giảm đáng kể so với nền mềm (liquid foundation), từ đó ứng suất xuất hiện ở các vị trí bất lợi cũng nhỏ hơn. Nên việc gia cố nền cứng cho kết cấu mặt đường đê là phù hợp với điều kiện chịu tải nặng của đường cao cấp;

Khi sử dụng cấp bê tông thấp hơn để làm lớp mặt, bán kính độ cứng tăng lên, do đó để đạt được ứng suất nhỏ cần tăng chiều dày tấm. Tuy nhiên, hiện nay nếu sử dụng NC30 (bê tông thường có cường độ 30MPa mẫu lập phương) thì cơ bản không đáp ứng được kết cấu mặt đường nói chung đối với khả năng chịu bất lợi đồng thời của tải trọng và nhiệt;

Bê tông xi măng mặt đường giao thông cho cấp tải trọng nặng nên có cấp cường độ từ 40MPa trở lên trên lập phương để đáp ứng được mục tiêu cả cường độ cũng như nhiệt;

Chế tạo bê tông hạt nhỏ sử dụng kết hợp cốt liệu xỉ thép và cát nhiễm mặn hợp lý theo nghiên

cứu [8] làm tăng đáng kể khả năng chịu bất lợi đồng thời của kết cấu mặt đường ôtô;

Nghiên cứu thực nghiệm đã được tiến hành tại Khu công nghiệp Hòa Phát-Dung Quất đạt kết quả tốt trong quá trình khai thác tính đến thời điểm hiện nay.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi đề tài độc lập cấp Nhà nước của Bộ Khoa học và Công nghệ Việt Nam "*Nghiên cứu sử dụng cát nhiễm mặn để xây dựng công trình giao thông*" - Mã số ĐTĐL.CN-23/19.

Tài liệu tham khảo

Griffths, G., Thom, N., 2007. *Concrete Pavement Design Guidance Notes*. Taylor & Francis, New York, USA.

Heidrich, C., Feuerborn, H.-J., Weir, A., 2013. Coal combustion products: a global perspective. In: *World of Coal Ash Conference*.

Mehta, P.K., Monteiro, P.J., 2017. *Concrete Microstructure, Properties and Materials*.

Nguyễn Thanh Sang, 2017. Nghiên cứu phương pháp kiểm tra và đảm bảo chất lượng thi công công trình cầu bê tông. Đề tài cấp Bộ mã số CTB2014-04-07.

Nguyễn Thanh Sang, Thái Minh Quân, Lê Thu Trang, 2021. Nghiên cứu thực nghiệm bê tông hạt nhỏ sử dụng cát nhiễm mặn làm mặt đường ôtô. *Tạp chí Giao thông vận tải*, số 08, trang 43-47, tháng 8/2021.

Quy hoạch phát triển giao thông vận tải đường bộ Việt Nam đến năm 2020 và định hướng đến năm 2030 theo quyết định số 356/QĐ-TTg ngày 25/02/2013 của Thủ tướng Chính phủ.

Wang, S., Zhang, G., Wang, B., Wu, M., 2020. Mechanical strengths and durability properties of pervious concretes with blended steel slag and natural aggregate. *Journal of Cleaner Production*, 122590.

Westergaard, H.M., 1926. Stresses in Concrete Pavements Computed by Theoretical Analysis. *Public Roads*, Vol. 7, No. 2, April.

Zdiri, M., 2009. The use of fluvial and marine sediments in the formulation of Roller Compacted Concrete for use in pavements. *Environmental Technology*, Vol. 30, No. 8, July 2009, 809-815.

An experimental pavement structure using fine-grained concrete with saline-contaminated sand at Dung Quat Industrial Zone

Le Thu Trang[1], Thai Minh Quan[1], Nguyen Thanh Sang*[1]
[1]*University of Transport and Communincations*
**Corresponding author: Email: nguyenthanhsang@utc.edu.vn*

Abstract

This paper presents the intergated of the structure of road using Fine-grained Concrete in Dung Quat industrial area. Caculating the critical stress of the concrete slab under the simultaneous effect of heavy load and temperature. Calculated results with the proposed structure show that the pavement structure can guarantee simultaneous load and thermal stress of cement concrete of the pavement structure.

Keywords: Pavement structure; saline sand; Dung Quat.

LẬP BẢN ĐỒ ĐỊA CHẤT PHƯỜNG TRÀ VINH, HÒA THUẬN, LONG ĐỨC, NGUYỆT HÓA THUỘC TỈNH VĨNH LONG (CŨ) PHỤC VỤ XÂY DỰNG HẠ TẦNG GIAO THÔNG

Châu Trường Linh[1,*], Huỳnh Hồng[2]
[1]Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Đà Nẵng
[2]Công ty CP TVXD & MT Duy Thành
**Tác giả liên hệ: Email: ctlinh@dut.udn.vn*

Tóm tắt

Bài báo giới thiệu kết quả lập bản đồ địa chất tại các phường Trà Vinh, Hoà Thuận, Long Đức, Nguyệt Hoá thuộc tỉnh Vĩnh Long trên nền tảng GIS, đồng bộ với google map và dữ liệu giao thông thực tế tại địa phương. Dựa vào dữ liệu địa chất từ 225 hố khoan đã được thực hiện và lưu trữ trên địa bàn, kết hợp với việc sử dụng phần mềm ArcGIS tích hợp hệ tọa độ VN-2000, nhóm NC đã xây dựng được bản đồ 3D địa chất thành phố Trà Vinh; xuất ra các mặt cắt địa chất bất kỳ và chỉ tiêu cơ lý tương ứng. Các kết quả đã được đối sánh với mặt cắt dọc địa chất đường Phạm Ngũ Lão, đường Bạch Đằng, đường quy hoạch D15,… Kết quả nghiên cứu có thể sử dụng phục vụ công tác thiết kế cơ sở, sơ bộ xác định giải pháp xử lý nền móng, xác định hợp lý tổng mức đầu tư xây dựng công trình trong điều kiện địa chất phức tạp ở địa bàn nêu trên.

Từ khóa: Phần mềm ArcGIS; địa chất Trà Vinh; bản đồ địa chất; mặt cắt dọc địa chất; nền đất yếu, đặc trưng cơ lý của đất.

1. Đặt vấn đề

Các phường Trà Vinh, Hoà Thuận, Long Đức và Nguyệt Hoá thuộc tỉnh Vĩnh Long được hình thành chủ yếu từ sự bồi đắp phù sa của sông Cổ Chiên nên khả năng chịu tải của đất nền rất yếu [3]. Từ số liệu khảo sát địa chất tại một số vị trí ta thấy đến độ sâu khoảng 30 - 40m vẫn là lớp bùn pha sét rất yếu bên cạnh mực nước ngầm cao nên gây rất nhiều khó khăn cho công việc xây dựng. Do đó để lựa chọn một giải pháp nền móng hợp lý, tiết kiệm là một vấn đề không hề đơn giản đòi hỏi người thiết kế phải có kinh nghiệm và có số liệu khảo sát địa chất đầy đủ, đáng tin cậy. Cho đến nay vẫn chưa có tài liệu nào tổng hợp về số liệu địa chất của khu vực này cũng như chưa có tài liệu nào chỉ dẫn, định hướng cho người kỹ sư thiết kế chọn giải pháp xử lý nền móng theo từng loại quy mô công trình một cách hợp lý và tin cậy nhằm giảm bớt thời gian, công sức trong việc thực hiện lựa chọn các phương án kỹ thuật, đồng thời tiết kiệm chi phí đầu tư xây dựng công trình, nhất là đối với các công trình hạ tầng giao thông.

Với số liệu địa chất mà nhóm nghiên cứu hiện có, có thể nghiên cứu sử dụng các phương pháp và công cụ, phần mềm hiện đại để xây dựng một bản đồ địa chất công trình để phục vụ cho các công tác quy hoạch, lập dự án và thiết kế hạ tầng giao thông tại khu vực nói trên. Việc này giúp tăng hiệu quả đầu tư xây dựng, góp phần giảm được một phần kinh phí khảo sát địa chất ban đầu và định hướng quy hoạch hạ tầng tốt hơn.

2. Các thông tin về nghiên cứu

2.1 Quá trình khảo sát, thu thập dữ liệu

2.1.1 Thu thập dữ liệu các hố khoan

Số liệu thu thập phần lớn từ công ty TNHH Duy Thành, sở Xây Dựng, sở Giao Thông, sở Tài Nguyên và Môi Trường tỉnh Trà Vinh (cũ) với 225 lỗ khoan kèm theo các chỉ tiêu cơ lý của các tầng địa chất. Tuy nhiên tọa độ của các hố khoan đều ở hệ tọa độ địa phương. Chính vì vậy cần khảo sát địa hình và đưa tọa độ các hố khoan về hệ tọa độ VN-2000. Sử dụng thiết bị khảo sát GPS là máy GPS-60CSx của hãng Gamin (Mỹ) có độ chính xác cao để khảo sát tọa độ các hố khoan

địa chất (hình 1).

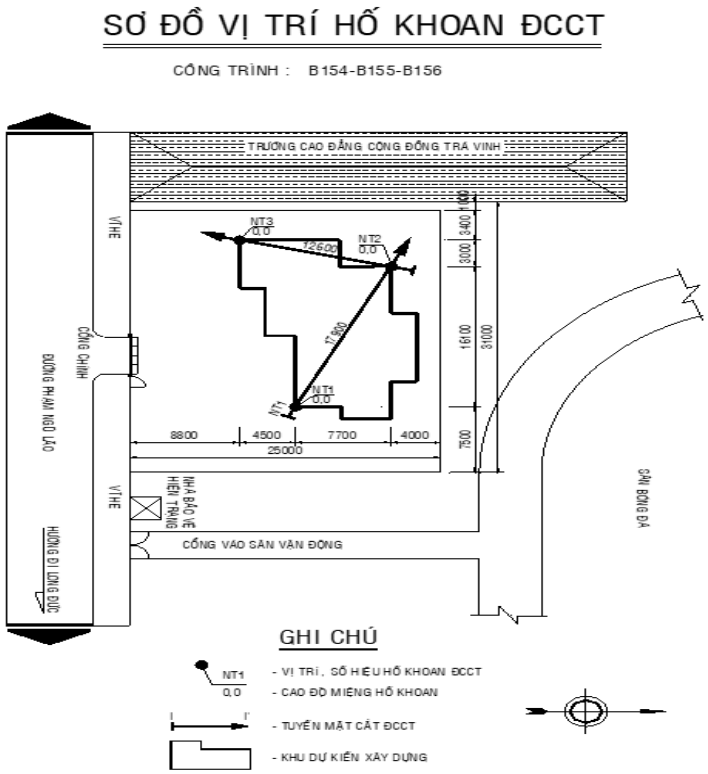
Hình 1. Thiết bị đo GPSMAP-60CSx

Thiết bị này giúp nhóm nghiên cứu nhanh chóng xác định được tọa độ (x,y) và cao độ của các hố khoan. Độ chính xác của thiết bị GPSMAP 60CSx phụ thuộc khá nhiều vào tín hiệu của các vệ tinh, điều kiện khí hậu thời tiết theo không gian và thời gian. Do vậy quá trình khảo sát được lựa chọn thực hiện trong điều kiện thời tiết tốt, ghi tọa độ hố khoan tại thời điểm hiển thị nhiều vệ tinh nhất.

Quá trình khảo sát cho thấy tọa độ (x,y) có độ chính xác cao, tuy nhiên sai số về cao độ khá lớn. Kết hợp sử dụng máy thủy bình Nikon-AC S2 và máy toàn đạc Pentax R-400 để đo cao kiểm tra, hiệu chỉnh.

2.1.2 Khảo sát hiện trường và chuẩn hóa dữ liệu

Dựa vào hồ sơ khảo sát địa chất công trình, tiến hành đi thực địa hiện trường để kiểm tra lại tọa độ và cao độ hố khoan bằng các thiết bị đã được trình bày trên (minh họa ở hình 2). Các công trình được mã hoá để đảm bảo bản quyền số liệu địa chất theo yêu cầu của các đơn vị cung cấp.



Hình 2. Xác định sơ bộ vị trí của các lỗ khoan địa chất dựa vào sơ đồ thu thập thực tế

- *Tổng hợp số liệu tọa độ các hố khoan:* minh họa thể hiện như bảng 1, kết quả được lập cho tất cả hố khoan trong cơ sở dữ liệu.

Bảng 1. *Tọa độ các hố khoan*

STT	HydroID	TÊN HỐ KHOAN	Y	X	Z
1	B1.147	TT1	591707.9373	1099082.2120	3.05
2	B1.148	TT2	591709.3082	1099074.9725	3.01
3	B1.149	TT3	591703.7789	1099050.4834	2.95
4	B1.152	LT1	591524.9156	1099062.7223	2.65
5	B1.153	LT2	591512.3577	1099072.6369	2.66
6	B1.154	NT1	591726.9624	1099237.8293	2.09
7	B1.155	NT2	591716.4135	1099223.4341	2.08
8	B1.156	NT3	591727.8467	1099218.2263	1.97

Trong đó:

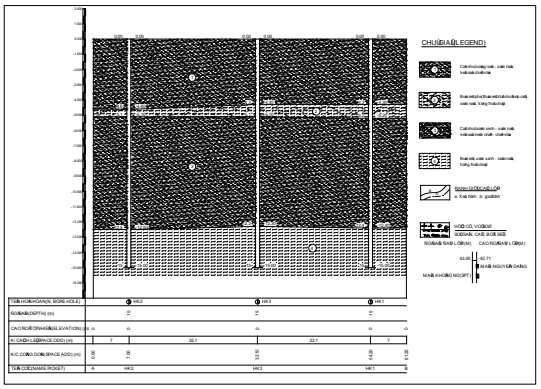
HydroID - Tên hố khoan đã được mã hoá;

X,Y - Tọa độ của các hố khoan theo hệ tọa độ VN2000 (Kinh tuyến trục 105,5 độ tại Hòn Dấu);

Z - Cao độ các hố khoan được hiệu chỉnh (m).

- *Số liệu địa tầng, chiều dày*

Dựa vào mặt cắt địa chất hố khoan, mặt cắt dọc địa chất công trình trong cơ sở dữ liệu, chuyển cao độ theo VN-2000 cho các điểm phân cách giữa các lớp địa chất (BottomElev và TopElev), gán tên và mã hóa các lớp địa chất (minh họa ở hình 3 và bảng 2).



Hình 3. Mặt cắt địa chất hố khoan

Bảng 2. *Bảng thống kê cao độ và các lớp địa chất*

LandElev	MA_HK	WellID	BottomElev	TopElev	HGUID
3.01	B1.147	1	-1.29	3.01	1
3.01	B1.147	1	-2.19	-1.29	2
3.01	B1.147	1	-9.39	-2.19	3
3.01	B1.147	1	-11.99	-9.39	4
3.05	B1.148	2	-1.55	3.05	1
3.05	B1.148	2	-2.05	-1.55	2
3.05	B1.148	2	-9.45	-2.05	3
3.05	B1.148	2	-11.95	-9.45	4
2.95	B1.149	3	-1.35	2.95	1
2.95	B1.149	3	-2.15	-1.35	2
2.95	B1.149	3	-9.35	-2.15	3
2.95	B1.149	3	-12.05	-9.35	4
2.65	B1.152	4	1.25	2.65	6
2.65	B1.152	4	0.15	1.25	5
2.65	B1.152	4	-2.65	0.15	4
2.65	B1.152	4	-8.05	-2.65	1
2.65	B1.152	4	-18.75	-8.05	4

Phân nhóm, phân vùng địa chất: kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý, đánh giá loại, trạng thái các lớp địa chất trong cơ sở dữ liệu được nhập vào CSDL (Bảng 3). Những vùng có các lỗ khoan mà địa chất giống nhau (tất cả các lớp địa chất) sẽ được phân làm một nhóm. Ký hiệu nhóm địa chất chung cho các vùng đó là tên các lớp địa chất đã mã hóa với nhau. Ví dụ nhóm có các lớp địa chất là 1; 2; 3; 4 thì tên nhóm địa chất là "1+2+3+" (Bảng 4). Một phân vùng có đường bao quy ước là giao của 4 đường giao thông trong khu vực nghiên cứu. Cách nội suy, phân nhóm, phân vùng địa chất này chỉ mang tính chất tương đối, có thể hiệu chỉnh theo người dùng và độ chính xác được nâng cao khi cập nhật thêm dữ liệu hố khoan. Cách làm này giúp cho người dùng nhanh chóng nắm bắt, hiểu được sự phân bố địa chất trong khu vực khi quy hoạch, thiết kế,...

Bảng 3. *Các chỉ tiêu cơ lý của các lớp địa chất*

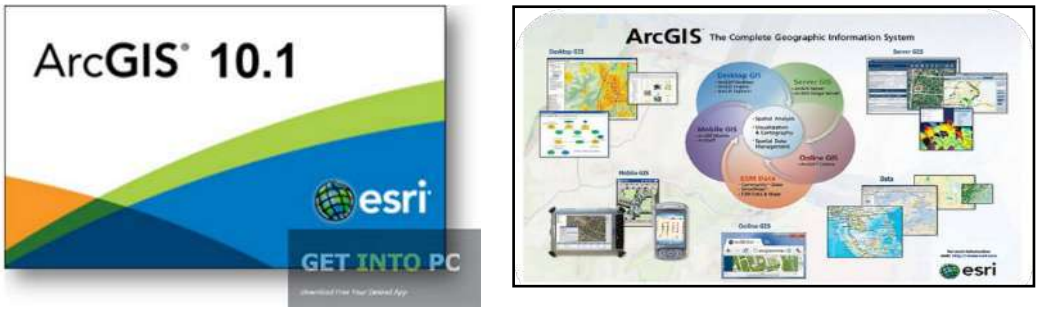
MA_HK	WellID	STT	HGUID	W_%	KL_RIENG (G/cm3)	e_o	$W_{L_\%}$	$W_{p_\%}$	$I_{p_\%}$	B	a	E kG/cm2	PHI	c kG/cm2
B1.147	1	1	1	23.19	2.647	0.708					0.013	129.92	26°31'	0.041
B1.147	1	2	2	57.29	2.620	1.519	45.5	25.6	19.9	1.59	0.122	18.11	03°08'	0.062
B1.147	1	3	3	26.70	2.652	0.804					0.014	129.73	27°58'	0.040
B1.147	1	4	4	52.71	2.628	1.411	43.5	25.6	17.9	1.52	0.120	17.95	04°14'	0.066
B1.148	2	1	1	23.19	2.647	0.708					0.013	129.92	26°31'	0.041
B1.148	2	2	2	57.29	2.620	1.519	45.5	25.6	19.9	1.59	0.122	18.11	03°08'	0.062
B1.148	2	3	3	26.70	2.652	0.804					0.014	129.73	27°58'	0.040
B1.148	2	4	4	52.71	2.628	1.411	43.5	25.6	17.9	1.52	0.120	17.95	04°14'	0.066
B1.149	3	1	1	23.19	2.647	0.708					0.013	129.92	26°31'	0.041
B1.149	3	2	2	57.29	2.620	1.519	45.5	25.6	19.9	1.59	0.122	18.11	03°08'	0.062
B1.149	3	3	3	26.70	2.652	0.804					0.014	129.73	27°58'	0.040
B1.149	3	4	4	52.71	2.628	1.411	43.5	25.6	17.9	1.52	0.120	17.95	04°14'	0.066

Bảng 4. *Bảng phân nhóm địa chất*

ID	SHAPE *	HGUID	HGUName	SHAPE _Length	SHAPE _Area	Dia_Chat
9	Polygon	9	1+2+10+29	1554.22	150098	Cát nhỏ, kém chặt, chặt vừa; Bùn sét pha, kẹp cát,chảy; Sét lẫn sỏi laterit, dẻo mềm, dẻo cứng, nửa cứng đến cứng
41	Polygon	41	1+2+10+29	1719.32	182026	Cát nhỏ, kém chặt, chặt vừa; Bùn sét pha, kẹp cát,chảy; Sét lẫn sỏi laterit, dẻo mềm, dẻo cứng, nửa cứng đến cứng
45	Polygon	45	1+2+10+29	1478.36	117556	Cát nhỏ, kém chặt, chặt vừa; Bùn sét pha, kẹp cát,chảy; Sét lẫn sỏi laterit, dẻo mềm, dẻo cứng, nửa cứng đến cứng
25	Polygon	25	1+2+3+15+25	2382.68	160639	Cát nhỏ, kém chặt, chặt vừa; Bùn sét pha, kẹp cát,chảy; Sét pha dẻo cứng đến cứng; Cát mịn, kết cấu kém chặt

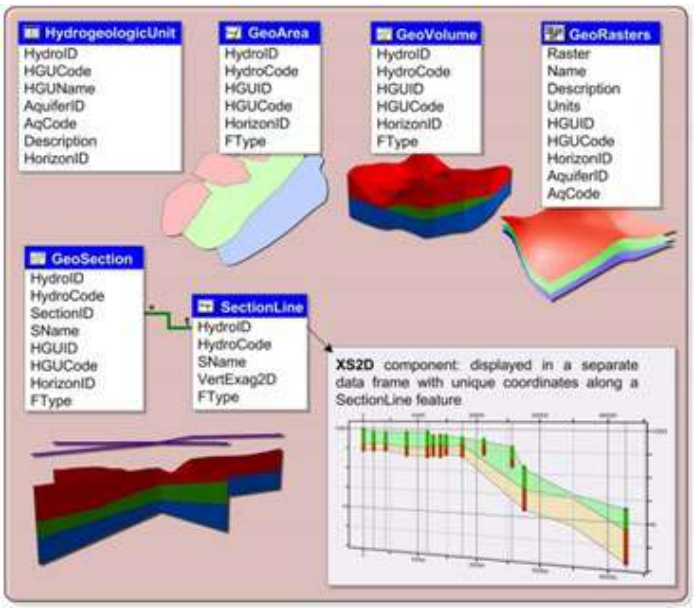
2.2 Xây dựng bản đồ địa chất công trình hạ tầng giao thông khu vực nghiên cứu (KVNC)

Các số liệu về công trình từ nhiều nguồn khác nhau được số hóa kết hợp phần mềm ARCGIS v10 để thực hiện lập bản đồ địa chất khu vực nghiên cứu. Phần mềm ARCGIS [4-7] là một trong các phần mềm tích hợp GIS hàng đầu hiện nay, cung cấp giải pháp toàn diện từ thu thập, nhập số liệu, chỉnh lý, phân tích và phân phối thông tin trên mạng Internet. Các mô đun được sử dụng trong phần mềm để thiết lập bản đồ GIS địa chất khu vực nghiên cứu bao gồm: ArcGIS Desktop, ArcView, ArcEditor, ArcMap, tool Archydro Ground Water (AHGW).



Hình 4. Phần mềm ArcGIS và các mô đun sử dụng

Trong đó công cụ Archydro Ground Water (AHGW) [8] được phát triển bởi nhà sản xuất Aqueoveo, được tích hợp vào ArcGIS và có các mô đun chính: Groundwater analyst, Modflow analyst, Subsurface analyst (hình 5). Công cụ này được dùng để xây dựng, nội suy địa chất, địa chất thủy văn, ...

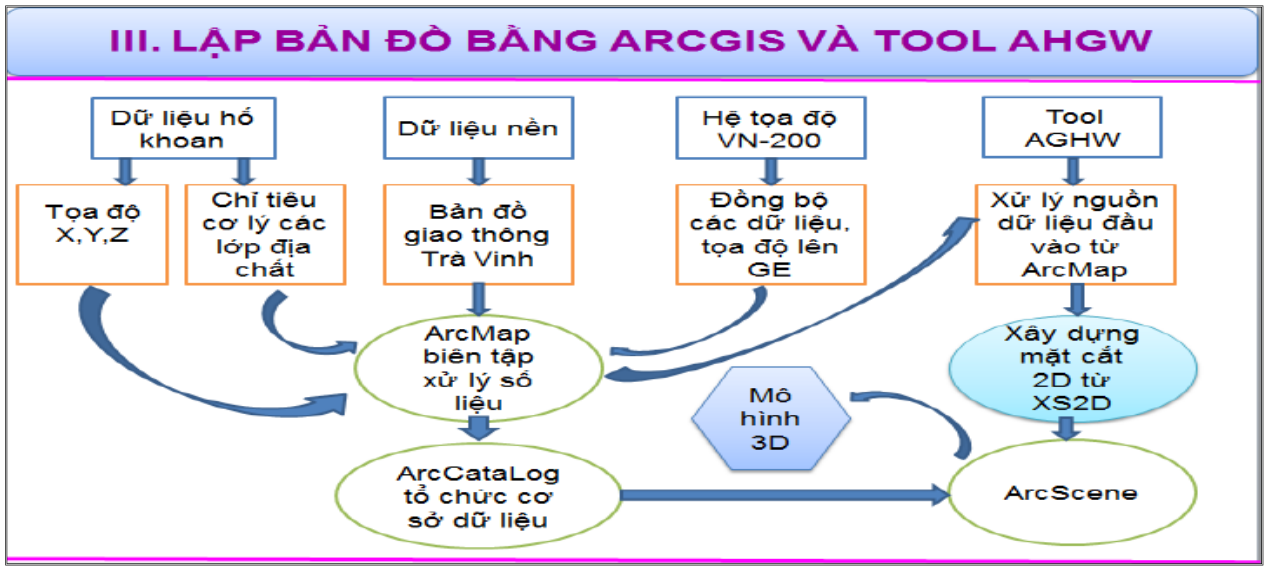


Hình 5. Chức năng của công cụ Archydro Ground Water

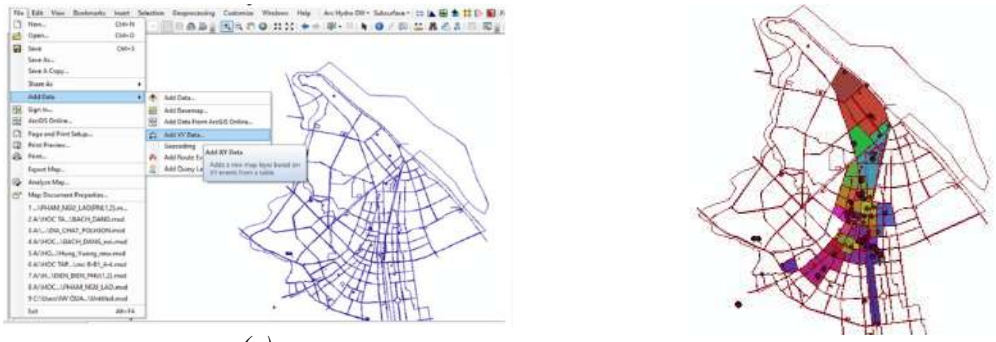
Quá trình thực hiện bao gồm:

- Nhập bản đồ giao thông khu vực nghiên cứu quy hoạch đến 2030 [2] định dạng AutoCad vào phần mềm ARCGIS (xem hình 7a);
- Đặt tọa độ cho bản đồ giao thông;
- Đưa tọa độ các hố khoan vào phần mềm;
- Đồng bộ tọa độ giữa bản đồ giao thông với phần mềm Google Earth.
- Sử dụng Tool ArcHdro GroundWater được tích hợp vào ARCGIS để xây dựng mặt cắt địa chất (xem hình 7b, hình 8).

Sơ đồ khối trên hình 6 dưới đây tóm tắt quá trình lập bản đồ địa chất và thiết lập các mặt cắt dọc địa chất 2D, 3D bất kỳ trong khu vực nghiên cứu.

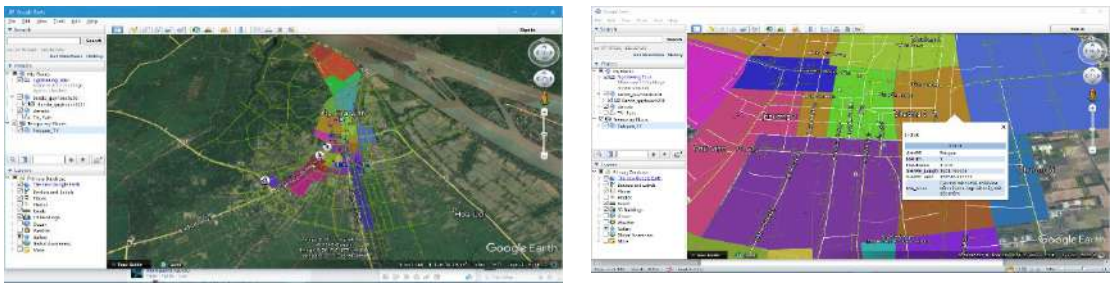


Hình 6. Sơ đồ khối về phương pháp lập bản đồ và tạo mặt cắt dọc địa chất 2D và 3D



(a) (b)

Hình 7. Thiết lập tọa độ VN-2000 bản đồ giao thông (a)và phân vùng địa chất KVNC (b)

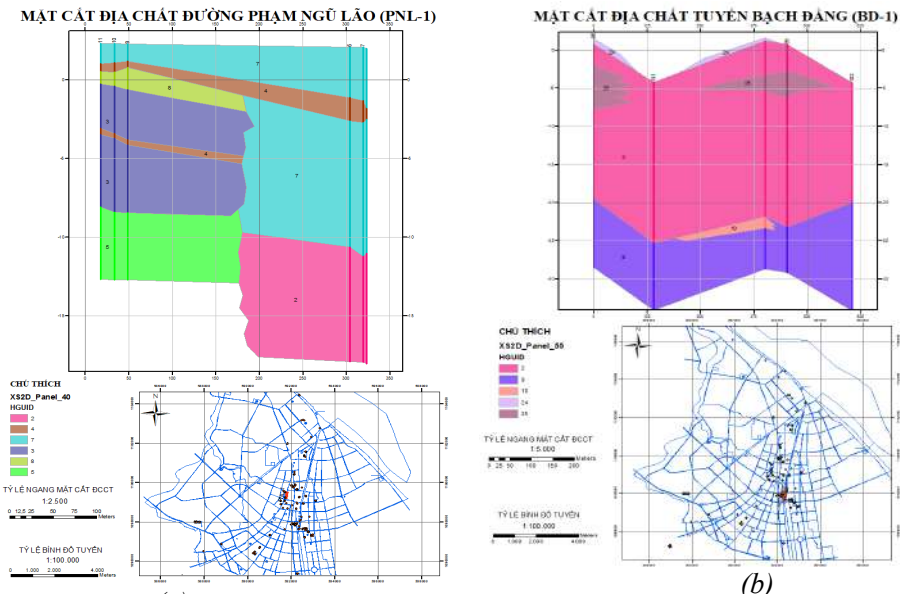


Hình 8. Bản đồ địa chất KVNC được đồng bộ lên Google Earth theo mạng lưới hạ tầng giao thông

2.3 Kết quả nghiên cứu

- Lập được bản đồ địa chất, bản đồ phân vùng địa chất khu vực nghiên cứu.
- Xuất được một mặt cắt bất kỳ tại khu vực nghiên cứu. Chuyển mặt cắt địa chất 2D lên mô hình 3D. Mặt cắt được xuất ra là kết quả của việc kết hợp dữ liệu địa chất của các lỗ khoan và quá trình nội suy các giá trị giữa các lỗ khoan, nơi mà mặt cắt đi qua (xem minh họa Hình 9).

Việc nội suy các tầng địa chất, phân tích phạm vi thấu kính địa chất được căn cứ vào các mặt cắt địa chất có sẵn, phân tích theo phương pháp chuyên gia và kiểm định với các hố khoan độc lập tại công trình (không đưa vào cơ sở dữ liệu địa chất); các chuyên gia có kinh nghiệm thực tế về địa chất khu vực nghiên cứu. Địa chất được xuất ra trong phần mềm đánh giá tương đối hợp lý đối với bản đồ địa chất khu vực nghiên cứu.



(a) (b)

Hình 9. Xuất mặt cắt dọc địa chất đường Phạm Ngũ Lão (a) và đường Bạch Đằng (b)

Ví dụ: Kết quả xuất trên mặt cắt dọc địa chất tuyến đường Phạm Ngũ Lão (PNL-1) có 6 lớp địa chất khác nhau (ký hiệu theo HGUID) có chỉ tiêu cơ lý khác nhau (bảng 5):

Lớp số 2: Bùn sét pha, bùn sét đôi chỗ kẹp cát, xám nâu, trạng thái chảy

Lớp số 4: Bùn sét xám xanh, xám nâu, trạng thái dẻo mềm, dẻo chảy

Lớp số 7: Cát nhỏ, rời đến chặt vừa (kém chặt)

Lớp số 3: Cát nhỏ, xám xanh, xám nâu, kết cấu kém chặt đến chặt vừa.

Lớp số 8: Sét pha, vàng nâu, xám nâu, trạng thái dẻo mềm

Lớp số 5: Sét, vàng nâu, xám nâu, trạng thái dẻo chảy

Trong mỗi lớp địa chất này, ứng với các chỉ tiêu cơ lý được nội suy từ số liệu chỉ tiêu cơ lý các lớp địa chất của các lỗ khoan trong CSDL ArcGIS.

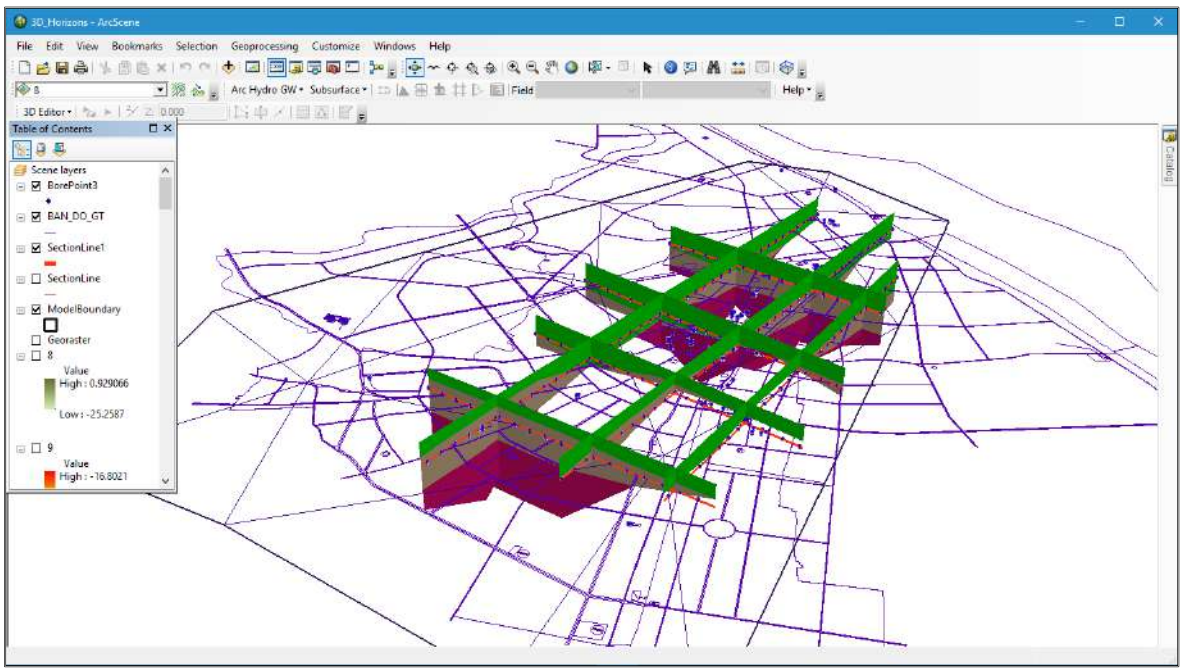
Bảng 5. *Thống kê các chỉ tiêu cơ lý trong mặt cắt dọc địa chất PNL-1 xuất từ ArcGIS*

a	B	c_kG_cm2	E_kG_cm2	eo	F15	F16	HGUID	Ip_	KL_RIENG_G_cm3_	MA_HK	OBJECTID	PHI	W_	WellID	WL_	Wp_
0.0144	<null>	0.034	98.556	0.804			7	<null>	2.665		1	2328	23.586		<null>	<null>
0.1213	1.51E+00	0.0445	15.650	1.774			4	12.67	2.605		2	319	50.455		42.090	29.433
0.0635	0.77	0.1515	30.717	1.053	<null>	<null>	8	18.24	2.73	B1.159	3	655	37.365	11	41.720	23.480
0.0165	<null>	0.032	105.055	0.778	<null>	<null>	3	<null>	2.667	B1.159	4	2442	27.355	11	<null>	<null>
0.0850	1.2	0.0445	21.371	0.985	<null>	<null>	4	6.68	2.62	B1.159	5	427	36.340	11	35.015	28.335
0.1030	1.37	0.037	20.170	1.281	<null>	<null>	5	15.61	2.6	B1.159	6	343	46.535	11	40.748	25.135
0.0122	<null>	0.042	152.033	0.840	<null>	<null>	7	<null>	2.66	B1.154	7	2348	29.689	6	<null>	<null>
0.0912	1.4375	0.05	21.758	1.143	<null>	<null>	2	12.44	2.654166667	B1.155	8	357	41.125	7	36.037	23.613

3. Thảo luận

Bản đồ địa chất công trình cho khu vực nghiên cứu có thể xuất với các tỉ lệ 1:100.000 đến 1:1.000 tùy yêu cầu quy hoạch, giai đoạn khảo sát, thiết kế,… (hình 8, 9). Một hướng tuyến bất kỳ được vạch trên bản đồ khu vực nghiên cứu sẽ nhanh chóng có được mặt cắt dọc địa chất và bảng chỉ tiêu cơ lý các lớp địa chất, các điều kiện địa chất thủy văn khác. Điều này cho phép tính toán thiết kế, lựa chọn giải pháp xử lý nền móng (ví dụ các giải pháp xử lý nền đất yếu).

Bản đồ địa chất công trình khu vực nghiên cứu có thể thiết lập mặt cắt dọc địa chất 3D cho một phân vùng được chỉ định (hình 10), điều này có thể cho phép người quy hoạch hạ tầng giao thông lựa chọn phương án hợp lý theo phân bố địa chất công trình, nếu điều kiện cho phép.



Hình 10. Mặt cắt địa chất 3D của một phân vùng trên bản đồ giao thông khu vực nghiên cứu

Thống kê địa chất công trình khu vực nghiên cứu gồm có 29 loại như bảng 3 dưới đây.

Bảng 6. *Thống kê tên các lớp địa chất khu vực nghiên cứu*

HydroID	HGUCode	HGUName
1	Cát	Cát nhỏ, vàng nâu, xám nâu, kết cấu kém chăt, chặt vừa
2	Bùn	Bùn sét pha, bùn sét đôi chỗ kẹp cát, xám nâu, trạng thái chảy
3	Cát	Cát nhỏ, xám xanh-xám nâu, kết cấu kém chặt, chặt vừa
4	Bùn	Bùn sét xám xanh- xám nâu, trạng thái chảy, (dẻo mềm)
5	Sét	Sét vàng nâu, xám nâu, trạng thái dẻo chảy
6	Cát	Cát pha, vàng nâu- xám nâu, trạng thái dẻo
7	Cát	Cát nhỏ, rời đến chặt vừa (kém chặt)
8	Sét	Sét pha, vàng nâu, xám nâu, trạng thái dẻo mềm
9	Sét	Sét, vàng nâu, xám trắng- xám xanh, trạng thái nửa cứng
10	Sét	Sét, xám nâu, xám đen lẫn sỏi laterit, dẻo mềm, dẻo cứng, nửa cứng
11	Bù	Bùn sét pha, nhão
12	Lớp	Lớp nền bê tông đá 4x6
13	Nền	Nền gạch và xà bần san lấp
14	Gạc	Gạch lẫn cát san lấp
15	Sét	Sét pha, xám nâu- xám trắng, trạng thái dẻo cứng (Đến cứng)
16	Lớp	Lớp kẹp cát mịn, rời
17	Cát	Cát và xà bần san lấp
18	Cát	Cát san lấp, vàng nâu
19	Sét	Sét pha, trạng thái chảy
20	Sét	Sét, xám xanh- xám trắng, trạng thái dẻo cứng
21	Cát	Cát nhỏ, xàng nâu- xám nâu, xen kẹp bùn kết cấu kém chặt
22	Bùn	Bùn cát pha, xám nâu- xám xanh, trạng thái dẻo
23	Đá	Đá laterrit kết tảng, xám, xám vàng nâu
24	Cát	Cát lẫn sét
25	Cát	Cát mịn, kết cấu kém chặt
26	Sét	Sét, xám đen, lẫn xác thực vật, trạng thái dẻo mềm
27	Bùn	Bùn sét pha, nhão
28	Đá	Lớp đá 0x4
29	Sét	Sét, vàng nâu, nâu đỏ, xen kẹp lớp laterit cứng chắc, trạng thái cứng

Trong đó, mật độ, chiều dày các lớp địa chất xuất hiện nhiều, có tính đại diện như sau:

1- Lớp sét - sét pha dẻo mềm đến dẻo chảy, bề dày 0,2 - 1,5m.

2- lớp bùn sét pha trạng thái chảy, bề dày 1,0 - 2,0m.

3- Lớp cát rời đến chặt vừa, bề dày 2,0 - 6,0m.

4 - Lớp bùn sét, bùn sét pha trạng thái chảy, bề dày 3,0 đến hơn 10m.

5- Lớp cát pha trạng thái rời, bề dày từ 0 - 2,0m.

6- Lớp sét, sét sét pha trạng thái dẻo mềm đến nửa cứng, bề dày hơn 10m.

4. Kết luận

- Tại khu vực nghiên cứu có nền đất với các lớp đất yếu phổ biến, nhất là các loại đất yếu như bùn sét, bùn sét pha, sét pha và sét trạng thái dẻo chảy đến chảy, có nơi kẹp cát, cát pha, một số nơi gặp đất sét, sét pha trạng thái dẻo cứng đến dẻo mềm, chiều dày có nơi lên đến 30 - 40m;

- Dựa vào bản đồ địa chất đã lập, có thể xuất được mặt cắt địa chất bất kỳ trong khu vực nghiên cứu theo hướng vạch tuyến kèm theo các chỉ tiêu cơ lý để phục vụ cho công tác thiết kế công trình. Tuy nhiên do CSDL hiện có khá khiêm tốn và tập trung chủ yếu ở vùng trung tâm nên độ chính xác phụ thuộc mật độ lỗ khoan từng khu vực; các tuyến mặt cắt địa chất thuộc phường Trà Vinh và phường Hòa Thuận (thuộc phường 1, 2, 3, 5 thành phố Trà Vinh cũ) tương đối chính xác; các mặt cắt địa chất tại các phường Long Đức và Nguyệt Hoá có độ tin cậy chưa cao do mật độ lỗ khoan nhỏ. Tuy nhiên Bản đồ địa chất cho phép cập nhật thêm CSDL địa chất bởi người dùng nên độ chính xác sẽ càng ngày càng tăng.

- Các mặt cắt địa chất kèm theo chỉ tiêu cơ lý của lớp địa chất có thể phục vụ giai đoạn quy hoạch, lập dự án, thiết kế cơ sở,… hoặc ít nhất là có thể định hướng quy hoạch hợp lý và nhanh chóng.

- Có thể đồng bộ kết quả nghiên cứu lên trên Google Earth, đây là một cách quản lý dữ liệu online, giúp mọi người có thể dễ dàng tra cứu thông tin, phục vụ nhiều công tác khác nhau (xây dựng, tư vấn, quản lý quy hoạch hạ tầng giao thông,…). Những dữ liệu có thể đồng bộ với Google Earth như bản đồ địa chất vùng nghiên cứu; bản đồ sự phân bố các lỗ khoan địa chất; bản đồ phân vùng địa chất; các thông tin về tên của các lớp địa chất, các chỉ tiêu cơ lý các lớp địa chất, dữ liệu về hạ tầng giao thông,…

Tài liệu tham khảo

Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2006. Cấu trúc Cơ sở dữ liệu GIS Quốc gia về Môi trường năm 2006.

UBND Tỉnh Trà Vinh. Bản đồ quy hoạch thành phố Trà Vinh 2030.

Công ty Cổ phần tư vấn xây dựng tổng hợp Trà Vinh, 2010. Báo cáo kết quả khảo sát địa chất công trình trong khu vực tỉnh Trà Vinh.

www.esri.com. ArcGIS - Use manual.

www.geoviet.vn. Cấu trúc cơ sở dữ liệu GIS hạ tầng đô thị của Tư vấn Geo Việt (với phần mềm ArcGIS).

www.geoviet.vn. Cấu trúc dữ liệu chuẩn cho các lớp GIS nền của ESRI (với phần mềm ARCGIS).

www.geoviet.vn. Cấu trúc dữ liệu giao thông chuẩn của ESRI.

www.aquaveo.com. The Archydro ground water tool.

Nguyễn Thùy Linh, 2015. Tổng quan về hệ thống thông tin địa lý (GIS.Tracdiapro.com).

Establishing geographical mapping in Tra Vinh, Hoa Thuan, Long Duc, Nguyet Hoa ward, Vinh Long province for traffic infrastructure construction

Truong-Linh CHAU[1,*], Hong HUYNH[2]
[1]*University of Science and Technolog, The University of Da-Nang*
[2]*Duy Thanh Construction and Environment Consulting JSC*
**Corresponding author: Email: ctlinh@dut.udn.vn*

Abstract

The paper presents the results of geological mapping in the wards of Tra Vinh, Hoa Thuan, Long Duc and Nguyet Hoa, Vinh Long Province, based on a GIS platform synchronized with Google Maps and local transportation data. Using geological data obtained from 225 boreholes that have been drilled and archived in the area, in combination with ArcGIS software integrated

with the VN-2000 coordinate system, the research team developed a 3D geological map of Trà Vinh City. This method allowed the extraction of arbitrary geological cross-sections together with the corresponding geotechnical parameters. The results were cross-validated against longitudinal geological sections along Pham Ngu Lao Street, Bach Dang Street, and the planned D15 road, among others. The research outcomes can be applied to preliminary and basic design works, providing a basis for foundation treatment solutions and for determining appropriate total construction investment costs under the complex geological conditions of the study area.

Keywords: ArcGIS software; Tra Vinh geology; geological mapping; geological cross-section; soft soil foundation; geotechnical properties of soil

XÂY DỰNG BẢN ĐỒ MÔ PHỎNG TÍNH DỄ BỊ TỔN THƯƠNG NGẬP LỤT Ở VIỆT NAM BẰNG THUẬT TOÁN HỌC MÁY TRONG GOOGLE EARTH ENGINE

Nguyễn Thị Nụ[1,*], Trần Thị Huyền Diệu[2]

[1]Trường Đại học Mỏ - Địa chất

[2]Công ty Cổ phần V-Mio System

**Tác giả liên hệ: Email: nguyenthinu@humg.edu.vn*

Tóm tắt

Trong điều kiện biến đổi khí hậu và quá trình đô thị hóa nhanh chóng, các hiện tượng như mưa bão xuất hiện thường xuyên và có tần suất tính bất thường tăng, tạo nên hậu quả ngập lụt các vị trí có điều kiện thoát nước kém, ảnh hưởng đe dọa tới hoạt động sống của con người. Do đó, dự báo và đánh giá vấn đề này là hết sức cần thiết. Một trong những phương pháp có thể sử dụng để nghiên cứu đó là ứng dụng Google Earth Engine (GEE), bằng cách sử dụng nguồn dữ liệu bản đồ sẵn có được tích hợp trên website và sử dụng các thuật toán trong GEE trong đó có thuật toán học máy. Bài báo này đã áp dụng phương pháp này để xây dựng bản đồ online miễn phí tính dễ bị tổn thương ngập lụt ở quy mô tỷ lệ nhỏ toàn quốc. Các thông số được sử dụng đó là độ cao so với sông suối (HAND), độ dốc địa hình, khoảng cách tới mạng lưới thủy văn, lớp phủ bề mặt và lượng mưa. Thuật toán Random Forest (RF) được áp dụng để phân loại nguy cơ ngập dựa trên dữ liệu quan sát ngập lụt từ ảnh Sentinel-1 và cơ sở dữ liệu về các lần ngập lụt thực tế xảy ra. Kết quả cho thấy ở mức độ mô phỏng, bản đồ nguy cơ ngập có độ chính xác cao (Overall Accuracy = 0.86; AUC = 0.91) và phản ánh rõ sự phân bố không gian của nguy cơ: tập trung ở đồng bằng sông Hồng, đồng bằng sông Cửu Long, duyên hải miền Trung và các đô thị ven sông lớn. Phương pháp này chứng minh tiềm năng trong giám sát rủi ro thiên tai và hỗ trợ quy hoạch thích ứng với biến đổi khí hậu. Tuy nhiên, để khẳng định tính chính xác tuyệt đối với quy mô vùng nhỏ cần phải có sự khảo sát thực địa để xác định chính xác các khu vực có nguy cơ bị ngập lụt.

Từ khoá: Ngập lụt, Tính dễ bị tổn thương, Google Earth Engine, Trí tuệ nhân tạo, Random Forest, Việt Nam.

1. Mở đầu

Lũ lụt là hiện tượng tự nhiên phổ biến và gây thiệt hại nghiêm trọng trên phạm vi toàn cầu. Hàng năm, lũ gây ra hàng triệu ca di dời, đặc biệt tại các quốc gia đang phát triển. Riêng năm 2021, đã có 206 trận lũ lớn trên thế giới làm hơn 4.393 người chết, ảnh hưởng đến 29,2 triệu người và gây thiệt hại kinh tế trực tiếp hơn 74,6 tỷ USD. Khoảng 23% dân số toàn cầu (1,81 tỷ người) đối mặt nguy cơ ngập sâu trên 0,15 m, trong đó 89% sống ở các nước đang phát triển. Nam Á và châu Phi là những khu vực chịu rủi ro cao, với hàng trăm triệu người bị ảnh hưởng, trong khi châu Âu và Úc cũng ghi nhận nhiều trận lũ nghiêm trọng trong giai đoạn gần đây (IMC, 2023).

Việt Nam cũng là một trong quốc gia cũng đặc biệt dễ bị tổn thương do điều kiện địa lý, lượng mưa, thủy triều và bão, điển hình năm 2020, lũ lụt đã phá hủy hàng trăm trường học, hàng triệu gia súc và hàng chục nghìn ha đất nông nghiệp (Hùng và nnk, 2023).

Các nghiên cứu đánh giá nguy cơ lũ lụt đã có sự chuyển dịch từ các mô hình vật lý như MIKE FLOOD, HEC-RAS sang các phương pháp dựa trên dữ liệu. Trong đó, các thuật toán học máy như hồi quy logistic, SVM, Random Forest hay AdaBoost đã được ứng dụng để dự báo nguy cơ ngập, song mỗi mô hình đơn lẻ vẫn tồn tại những hạn chế nhất định. Gần đây, sự phát triển của các mô hình học sâu (CNN, RBFNN, RNN…) cho thấy tiềm năng lớn nhờ khả năng xử lý dữ liệu phức tạp và cập nhật liên tục. Tuy nhiên, các thách thức liên quan đến tối ưu hóa toàn cục và khả năng

ngoại suy vẫn chưa được giải quyết triệt để, khiến nhiều nghiên cứu phải tích hợp thêm các thuật toán tối ưu.

Trước đây, phương pháp chồng lớp trọng số (MCA - Multi-Criteria Analysis) thường được sử dụng để xây dựng bản đồ nguy cơ ngập, song còn phụ thuộc nhiều vào tính chủ quan của người phân tích (Danumah và nnk, 2016). Trong bối cảnh đó, trí tuệ nhân tạo (AI), đặc biệt là các thuật toán học máy như Random Forest (RF), SVM hay Gradient Boosting, đã chứng minh được hiệu quả vượt trội trong khai thác dữ liệu lớn và giảm thiểu sai lệch chủ quan (Tran và nnk, 2024).

Google Earth Engine (GEE) là nền tảng điện toán đám mây mạnh mẽ cho xử lý dữ liệu viễn thám quy mô lớn (Belay và nnj, 2025), cho phép tích hợp đa nguồn dữ liệu (DEM, ảnh vệ tinh, thủy văn, khí tượng) và triển khai AI trực tiếp trên nền web. Do đó, việc áp dụng AI trên GEE để xây dựng bản đồ tính dễ bị tổn thương ngập lụt ở Việt Nam là cần thiết, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn cao.

2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu này được thực hiện trên nền tảng Google Earth Engine (GEE), một môi trường tính toán đám mây mạnh mẽ cho phép xử lý và phân tích dữ liệu viễn thám quy mô lớn. Trước hết, dữ liệu địa hình được lấy từ mô hình số độ cao toàn cầu (DEM) của SRTM với độ phân giải 30 m. Dữ liệu này được sử dụng để tính toán các chỉ số thủy văn quan trọng như độ dốc, chỉ số độ ẩm địa hình (Topographic Wetness Index - TWI) và HAND (Height Above Nearest Drainage), nhằm phản ánh sự nhạy cảm của bề mặt đất đối với ngập lụt. Chiều cao trên hệ thống thoát nước gần nhất (HAND) là một mô hình địa hình chuẩn hóa địa hình theo độ cao tương đối dọc theo mạng lưới thoát nước và được sử dụng để mô tả thế năng trọng trường tương đối của đất hoặc thế năng thoát nước cục bộ. Mỗi giá trị pixel thể hiện khoảng cách theo chiều dọc đến hệ thống thoát nước gần nhất. Dữ liệu HAND cung cấp phạm vi phủ sóng đất đai gần như toàn cầu ở độ phân giải 30 m và được tạo ra từ bản phát hành năm 2021 của Copernicus GLO-30 Public DEM được phân phối trong Cơ quan Đăng ký Dữ liệu Mở trên AWS (Amazon Web Services) (Donchyts, 2016).

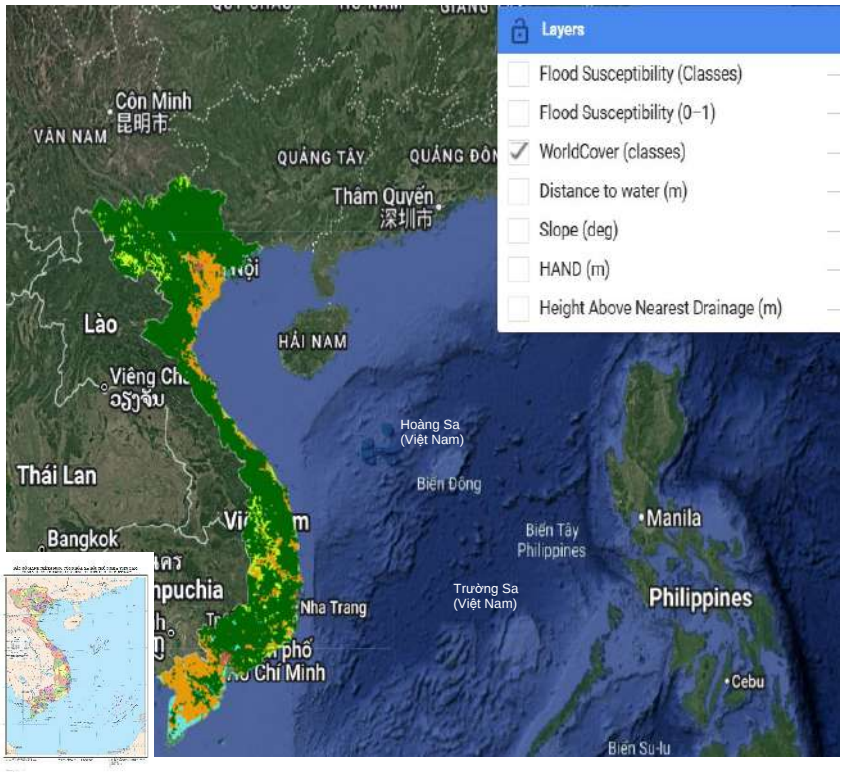
Tiếp đó, dữ liệu mưa được thu thập từ bộ sản phẩm CHIRPS với độ phân giải 5 km, bao phủ giai đoạn 2000-2023. Chuỗi số liệu mưa được xử lý để tính toán lượng mưa cực đoan (Extreme Rainfall Index - ERI) theo chu kỳ 24 giờ và 72 giờ, phản ánh nguy cơ mưa lớn gây ngập. Song song với đó, lớp sử dụng đất (Land Use Land Cover - LULC) được tích hợp từ cơ sở dữ liệu ESA WorldCover 2021, giúp phân biệt các khu vực đô thị, nông nghiệp, rừng và mặt nước - những yếu tố có ảnh hưởng đáng kể đến khả năng thấm, thoát nước và tích tụ lũ.

Trong bước tiếp theo, bản đồ ngập được xây dựng từ dữ liệu JRC Global Surface Water - Occurrence, phản ánh tần suất xuất hiện mặt nước trong giai đoạn 1984-2020. Đây là lớp dữ liệu toàn cầu với độ phân giải 30 m, thể hiện mức độ thường xuyên có nước tại từng pixel trong suốt giai đoạn quan trắc, từ đó cung cấp cơ sở để đánh giá nguy cơ ngập. Các chỉ số được chuẩn hóa về cùng một thang đo (0-1) thông qua phương pháp min-max normalization, sau đó được kết hợp bằng mô hình học máy Random Forest. Thuật toán này được lựa chọn vì khả năng xử lý dữ liệu phi tuyến tính, tính bền vững trước hiện tượng quá khớp (overfitting) và độ chính xác cao trong phân loại không gian.

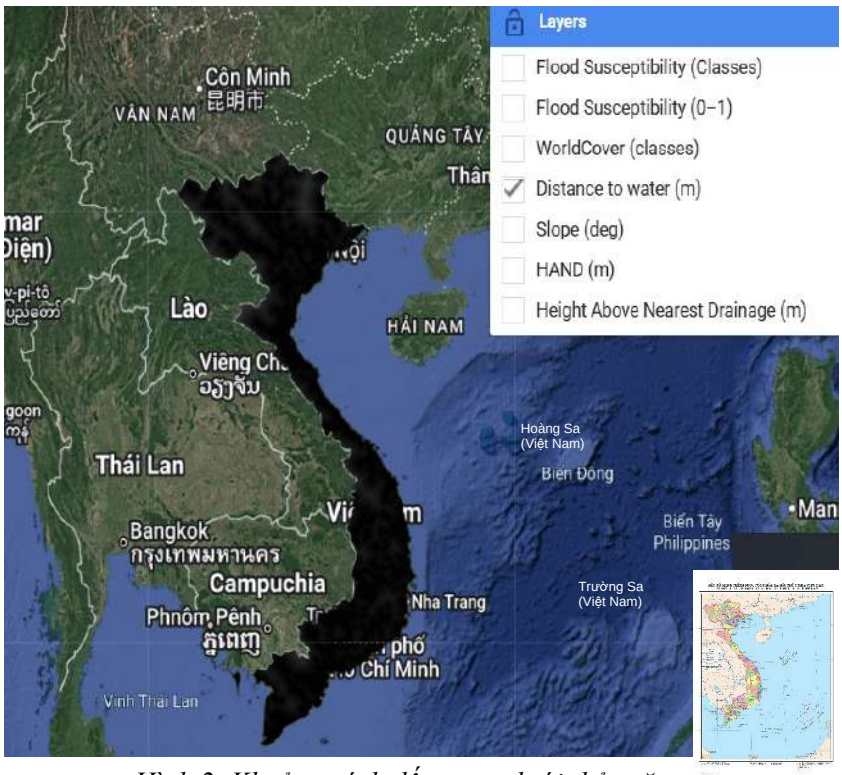
Cuối cùng, kết quả phân loại được chia thành bốn cấp độ dễ bị tổn thương: rất cao, cao, trung bình và thấp. Độ chính xác của mô hình được kiểm chứng thông qua hệ số Kappa và chỉ số AUC (Area Under the Curve) bằng cách so sánh bản đồ dự báo với các điểm kiểm chứng thực địa. Toàn bộ quy trình được tự động hóa bằng script trên GEE, đảm bảo tính tái lập và khả năng mở rộng cho các khu vực khác tại Việt Nam. Mã code được giới thiệu ở cuối bài.

3. Kết quả và nhận xét

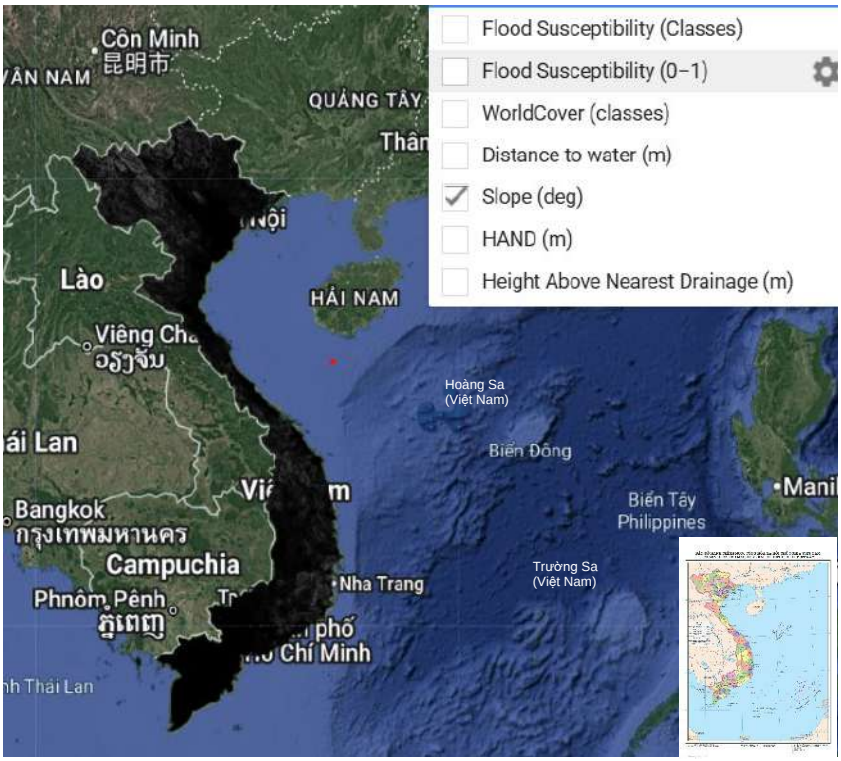
Các kết quả được thể hiện ở các hình 1, 2, 3, 4, 5, 6.



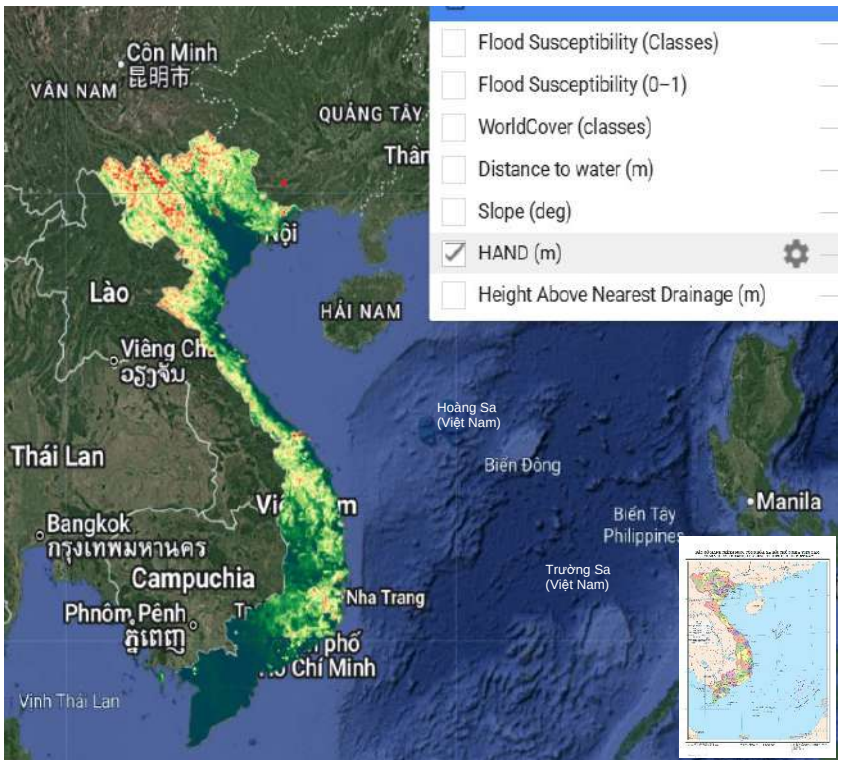
Hình 1. Lớp phủ thực vật



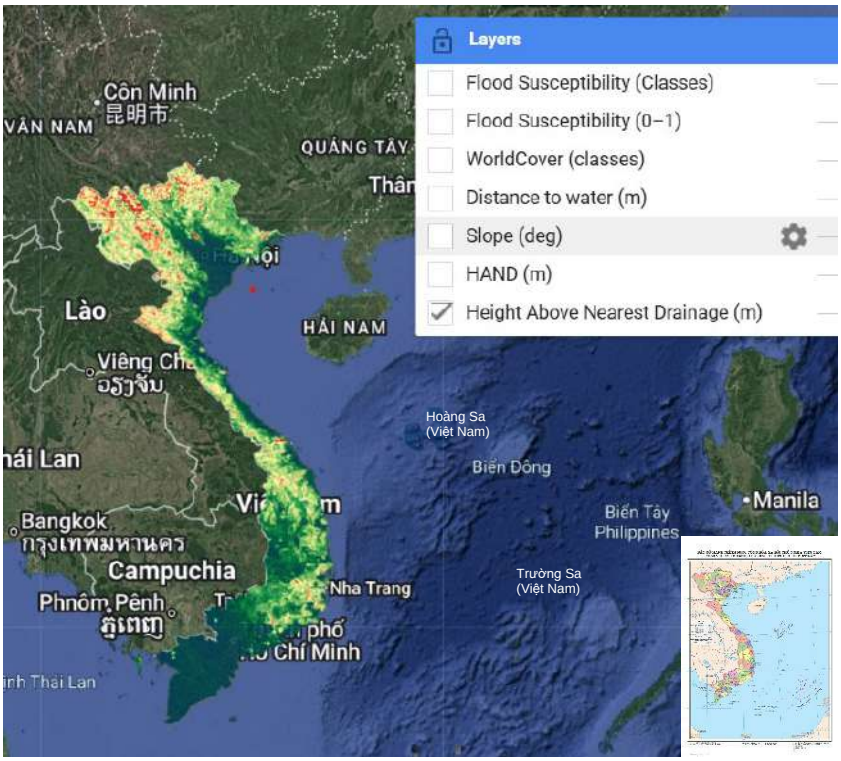
Hình 2. Khoảng cách đến mạng lưới thủy văn



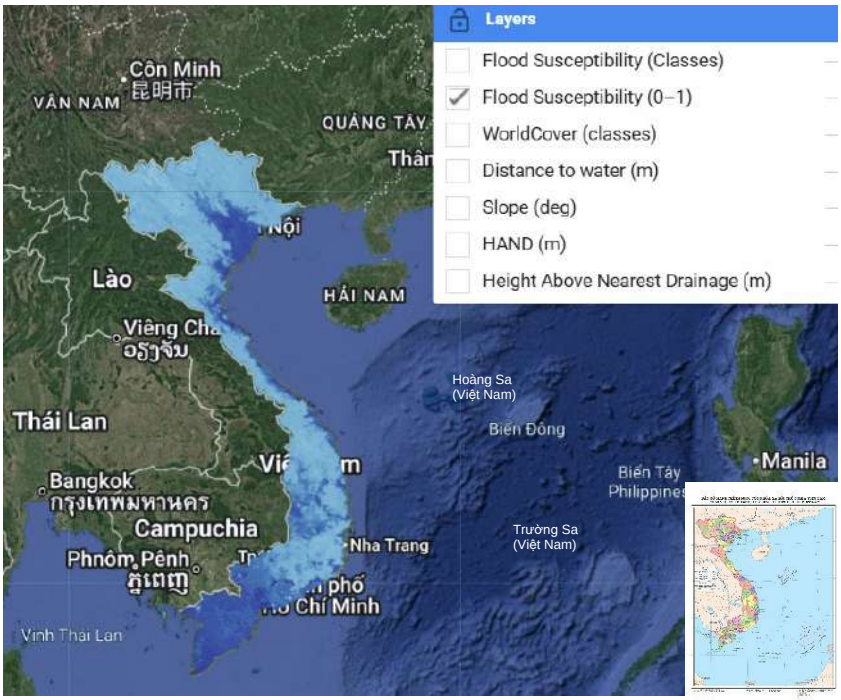
Hình 2. Độ dốc địa hình



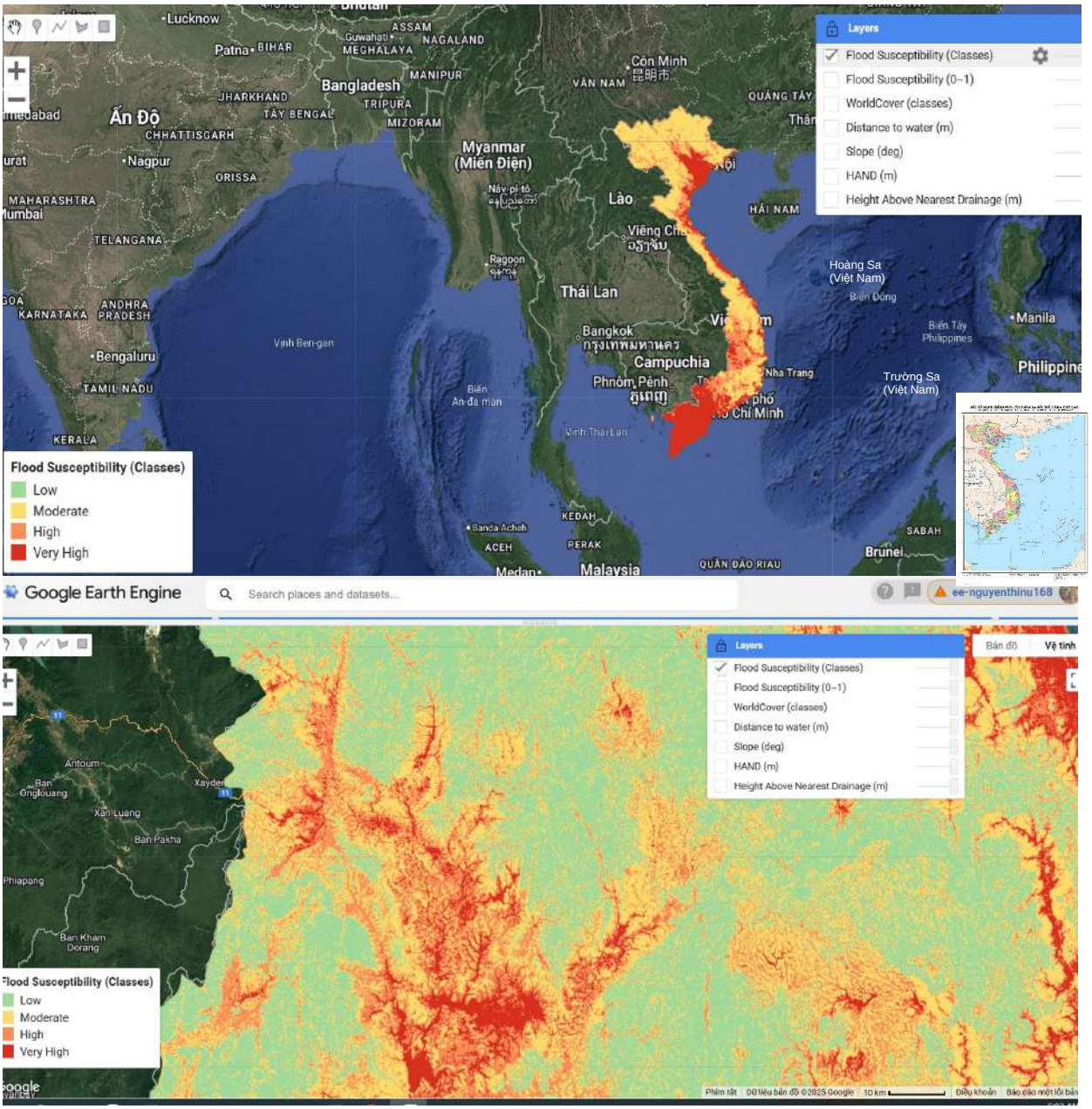
Hình 4. Chiều cao trên hệ thống thoát nước gần nhất (HAND, Donchyts, 2016)



Hình 5. Chiều cao trên hệ thống thoát nước gần nhất



Hình 5. Bản đồ nhạy cảm lũ lụt (0 -1)



Hình 6. Bản đồ mô phỏng tính dễ bị tổn thương ngập lụt ở Việt Nam

Kết quả xử lý dữ liệu trên nền tảng Google Earth Engine cho thấy bản đồ tính dễ bị tổn thương ngập lụt có độ phân giải 30 m, thể hiện sự phân hóa rõ rệt giữa các khu vực (Hình 6). Các tỉnh thuộc đồng bằng sông Hồng, đồng bằng sông Cửu Long và ven biển miền Trung được phân loại ở mức dễ bị tổn thương cao đến rất cao. Ngược lại, các khu vực miền núi phía Bắc và Tây Nguyên thể hiện mức dễ bị tổn thương thấp do địa hình dốc, mật độ dân cư thấp và ít tác động nhân sinh.

Việc ứng dụng mô hình học máy (Random Forest và XGBoost) trên GEE đã cho kết quả phân loại chính xác hơn so với phương pháp hồi quy truyền thống. Độ chính xác kiểm chứng (OA) đạt trên 85%, chỉ số Kappa trên 0,8, chứng tỏ mô hình có khả năng dự đoán tin cậy. Điều này khẳng định rằng việc kết hợp dữ liệu đa nguồn (DEM, mưa, sử dụng đất, dân số) với thuật toán AI giúp nâng cao độ chính xác và tính cập nhật của bản đồ ngập lụt.

Tại đồng bằng sông Cửu Long, các tỉnh như An Giang, Đồng Tháp và Long An thể hiện vùng nguy cơ ngập lụt rất cao, đặc biệt ở khu vực ven sông Tiền, sông Hậu. Tại miền Trung, Thừa Thiên Huế và Quảng Bình nổi bật với dải ven biển có độ dễ bị tổn thương cao, do vừa chịu ảnh hưởng triều cường vừa chịu tác động của bão và mưa lớn. Trong khi đó, các đô thị lớn như Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh ghi nhận sự gia tăng nguy cơ ngập lụt tại các quận ven sông và khu vực đô thị hóa

nhanh.

Kết quả nghiên cứu chứng minh rằng bản đồ tính dễ bị tổn thương ngập lụt có thể là công cụ hữu ích cho công tác quy hoạch không gian, phòng chống thiên tai và quản lý rủi ro. Bản đồ này giúp các cơ quan chức năng nhận diện khu vực nguy cơ cao để ưu tiên đầu tư hạ tầng thoát nước, nâng cao năng lực chống chịu của cộng đồng và lập kế hoạch thích ứng biến đổi khí hậu. Ngoài ra, phương pháp trên GEE có ưu điểm là chi phí thấp, khả năng mở rộng cho phạm vi toàn quốc, và dễ cập nhật theo thời gian thực.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã sử dụng dữ liệu đa nguồn (DEM, mưa, lớp phủ đất, dân số) kết hợp với các thuật toán học máy (Random Forest và XGBoost) trên nền tảng Google Earth Engine để xây dựng bản đồ tính dễ bị tổn thương ngập lụt tại Việt Nam với độ phân giải 30 m. Kết quả cho thấy:

- Các khu vực đồng bằng (Đồng bằng sông Hồng, Đồng bằng sông Cửu Long và dải ven biển miền Trung) có mức độ dễ bị tổn thương cao đến rất cao; trong khi các vùng núi phía Bắc và Tây Nguyên thể hiện nguy cơ thấp hơn do đặc trưng địa hình và mật độ dân cư.
- Mô hình đạt độ chính xác kiểm chứng cao (OA > 85%, Kappa > 0,8), khẳng định tính khả thi và độ tin cậy của phương pháp.
- Bản đồ dễ bị tổn thương ngập lụt có ý nghĩa thực tiễn trong quy hoạch không gian, phòng chống thiên tai, quản lý rủi ro và thích ứng với biến đổi khí hậu.

Phương pháp ứng dụng AI trên GEE cho thấy ưu điểm vượt trội về khả năng xử lý dữ liệu lớn, chi phí thấp và tính cập nhật nhanh. Trong tương lai, nghiên cứu có thể mở rộng theo hướng tích hợp dữ liệu thủy văn - khí tượng, mô hình thủy lực và các thuật toán học sâu (Deep Learning) nhằm nâng cao hơn nữa độ chính xác, phục vụ hiệu quả công tác dự báo và quản lý rủi ro thiên tai.

Tài liệu tham khảo

Internal Displacement Monitoring Centre (IDMC, 2023). Global Report on Internal Displacement 2023 (GRID 2023) (2023).

https://www.internal-displacement.org/sites/default/files/publications/documents/IDMC_GRID_2023_Global_Report_on_Internal_Displacement_LR.pdf, Accessed 25th Apr 2023

Hung P. M., Nguyen H. D. & Pham V. C. 2023 Assessment of Inundation susceptibility in the context of climate change, based on machine learning and remote sensing: Case study in Vinh Phuc province of Vietnam. Geographia Technica 18 (2), 93-112.

Danumah, H.J., Odai, S.N., Saley, M.B., Szarzynski, J., Thiel, M., Kwaku, A., Kouame, K.F. & Akpa, Y.L., 2016. Flood risk assessment and mapping in Abidjan district using multi-criteria analysis (AHP) model and geoinformation techniques, (cote d'ivoire). Geoenvironmental Disasters.

Tran V.A., Khu, T.D., Truong, X.Q., Nguyen, A.B Phi, T.T. (2024). Application of potential machine learning models in landslide susceptibility assessment: A case study of Van Yen district, Yen Bai province, Vietnam, Quaternary Science Advances.

Flood Inundation Mapping Using the Google Earth Engine and HEC-RAS Under Land Use/Land Cover and Climate Changes in the Gumara Watershed, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia.

Donchyts, Gennadii, Hessel Winsemius, Jaap Schellekens, Tyler Erickson, Hongkai Gao, Hubert Savenije, and Nick van de Giesen. "Global 30m Height Above the Nearest Drainage (HAND)", Geophysical Research Abstracts, Vol. 18, EGU2016-17445-3, 2016, EGU General Assembly (2016). https://gee-community-catalog.org/projects/hand/

Dữ liệu code của bài báo

https://code.earthengine.google.com/e717eb9296c01c0399d5b40ff6f1660d

Construction of a flood vulnerability simulation map in Vietnam using machine learning algorithms in google earth engine

Nguyen Thi Nu[1,*], Tran Thi Huyen Dieu[2]
[1]*Hanoi University of Mining and Geology*
[2]*V-Mio System Joint Stock Company*
**Corresponding author: nguyenthinu@humg.edu.vn*

Abstract

Under the conditions of climate change and rapid urbanization, phenomena such as storms and heavy rainfall occur more frequently and with increasing irregularity, causing flooding in areas with poor drainage conditions and posing threats to human activities. Therefore, forecasting and assessing this issue are essential. One effective approach is the application of Google Earth Engine (GEE), which utilizes integrated spatial datasets and built-in algorithms, including machine learning models.

This study applied the GEE platform to develop a free online map illustrating flood vulnerability across Vietnam at a small-scale, nationwide level. The parameters used include Height Above Nearest Drainage (HAND), terrain slope, distance to the hydrological network, land cover, and rainfall. The Random Forest (RF) algorithm was employed to classify flood risk based on flood observations derived from Sentinel-1 imagery and records of actual flood events.

The results indicate that the simulated flood risk map achieved high accuracy (Overall Accuracy = 0.86; AUC = 0.91) and clearly represented the spatial distribution of flood-prone areas-mainly concentrated in the Red River Delta, Mekong Delta, Central Coastal Region, and major riverine urban areas. This approach demonstrates strong potential for disaster risk monitoring and climate change adaptation planning. However, to ensure absolute accuracy at local scales, field surveys are required to validate and refine the identified flood-prone zones.

Keywords: Flooding, Vulnerability, Google Earth Engine, Artificial Intelligence, Random Forest, Vietnam.

ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ CỦA VIỆC TRỒNG MẮM TRẮNG TRONG PHÒNG CHỐNG SẠT LỞ BỜ SÔNG TẠI XÃ LƯU NGHIỆP ANH, TỈNH VĨNH LONG

Huỳnh Hữu Trí[1], Ngô Gia Truyền[1,*], Nguyễn Thành Công[1], Huỳnh Văn Hiệp[1]

[1]Trường Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Trà Vinh

**Tác giả liên hệ: Email:giatruyen@tvu.edu.vn*

Tóm tắt

Sạt lở bờ sông đang trở thành thách thức nghiêm trọng tại tỉnh Vĩnh Long, đặc biệt ở xã Lưu Nghiệp Anh, nơi chịu tác động mạnh của dòng chảy và biến đổi khí hậu. Nghiên cứu này tập trung đánh giá hiệu quả của việc trồng mắm trắng như một giải pháp sinh học nhằm phòng chống sạt lở. Kết quả cho thấy rừng mắm trắng có khả năng giữ đất, giảm sóng, ổn định bờ sông và mang lại nhiều lợi ích phụ trợ như cải thiện môi trường, nâng cao đa dạng sinh học và hỗ trợ sinh kế cộng đồng. Tuy nhiên, để đạt hiệu quả tối ưu, việc trồng mắm trắng cần kết hợp với các giải pháp công trình và có sự tham gia quản lý của cộng đồng địa phương. Nghiên cứu khẳng định trồng mắm trắng là một giải pháp bền vững, khả thi và phù hợp trong phòng chống sạt lở bờ sông ở Vĩnh Long, góp phần bảo vệ môi trường, ổn định đời sống dân sinh và phát triển kinh tế - xã hội địa phương.

Từ khóa: Cây mắm trắng; chống sạt lở; giữ đất; Vĩnh Long.

1. Đặt vấn đề

Sạt lở bờ sông là một trong những vấn đề nghiêm trọng đang diễn ra tại Đồng bằng sông Cửu Long nói chung và tỉnh Vĩnh Long nói riêng. Trước bối cảnh biến đổi khí hậu, mưa lũ bất thường, cùng với tác động từ các hoạt động khai thác tài nguyên và thay đổi dòng chảy, nguy cơ sạt lở ngày càng gia tăng cả về quy mô và mức độ. Trong nhiều giải pháp phòng chống sạt lở bờ sông, việc ứng dụng các biện pháp sinh học, đặc biệt là trồng cây bản địa có khả năng chịu mặn, chịu ngập, được xem là giải pháp bền vững và thân thiện với môi trường. Cây mắm trắng là loài cây ngập mặn đặc trưng, có hệ rễ phát triển, giúp cố định đất, giảm sóng và hạn chế xói mòn hiệu quả. Nhiều nghiên cứu tại các quốc gia có hệ sinh thái ngập mặn phát triển (như Indonesia, Philippines, Bangladesh, Ấn Độ) đã chứng minh hiệu quả rõ rệt của việc trồng rừng ngập mặn trong việc giảm thiểu tác động của sóng, bão và nước biển dâng, ổn định bờ sông, bờ biển và giảm chi phí bảo vệ bằng công trình cứng, mang lại lợi ích kép bảo vệ đất và tăng sinh kế nhờ khai thác thủy sản, du lịch sinh thái. Ở Đồng bằng sông Cửu Long, nhiều dự án trồng rừng ngập mặn (Cà Mau, Tp. Cần Thơ) cho thấy hiệu quả trong việc giảm sạt lở, phục hồi hệ sinh thái và hỗ trợ cộng đồng ven biển. Một số nghiên cứu đã khẳng định rằng cây mắm trắng là loài tiên phong, thích hợp với vùng đất bãi bồi mới, có khả năng chịu mặn, chịu ngập và phát triển nhanh, từ đó tạo nền tảng cho sự hình thành rừng ngập mặn ổn định. Theo Hằng và nnk, 2023 thì trồng khoảng 2,5 ha cây mắm Trắng bảo vệ vùng cửa sông ven biển bán đảo Cà Mau với mật độ 2.500 cây/ha có kết quả là giảm sóng, tăng hiệu quả gây bồi rất hiệu quả, ước tính giá trị về mặt kinh tế, môi trường của mô hình đạt 38.023.184 đồng/năm. Nhiều nghiên cứu đã chứng minh rằng rừng ngập mặn nói chung, và loài mắm trắng nói riêng, đóng vai trò quan trọng trong việc ổn định bờ, giảm năng lượng sóng, tích tụ trầm tích và tạo lập bãi bồi (Cuong và nnk, 2015; Manon và nnk, 2019). Tại khu vực ĐBSCL, mắm trắng thường phân bố ở vùng bồi tụ ngoài biển hoặc bãi bồi cửa sông, nơi có điều kiện thủy động lực mạnh. Nghiên cứu tại Cà Mau cho thấy mắm trắng chiếm ưu thế ở vùng ngoài, trong khi các loài như cây Đước đôi phát triển về phía trong (Linh và nnk., 2020; Linh và nnk, 2023). Điều này gợi ý mắm trắng là loài tiên phong, giúp giữ phù sa, sau đó tạo điều kiện cho các loài khác kế tiếp phát triển và hình thành đai rừng hoàn chỉnh. Các thí nghiệm phục hồi rừng ngập mặn ở ĐBSCL cho thấy tỷ lệ sống của mắm trắng cao hơn rõ rệt khi có biện pháp "giải pháp mềm" hỗ trợ như hàng rào tre, cọc chữ T hay đê mềm tạo bãi. Ví dụ, nghiên cứu tại Bạc Liêu và Sóc Trăng ghi nhận tỷ lệ sống trên 90% sau 3 tháng với mắm trắng và đước khi kết hợp hàng rào tre chắn sóng (Hoang và nnk, 2024; Hằng và nnk, 2023). Điều này nhấn mạnh rằng mắm trắng chỉ phát

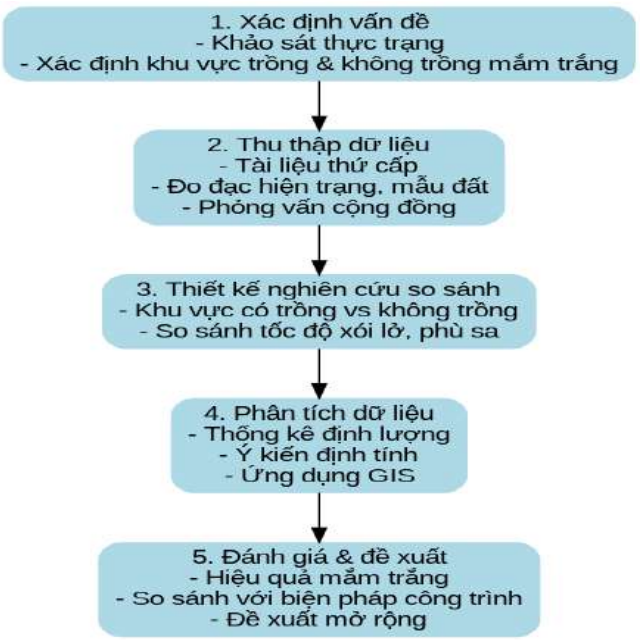
huy hiệu quả phòng hộ khi có điều kiện ban đầu thuận lợi để rễ chống chịu được sóng gió. Ngoài vai trò thực tiễn, các nghiên cứu mô hình hóa cũng cho thấy mắm trắng có khả năng thích nghi cao với biến đổi khí hậu và nước biển dâng, hứa hẹn tiếp tục là loài chiến lược trong các dự án bảo vệ bờ ở ĐBSCL (An và nnk, 2021). Bên cạnh đó, các nghiên cứu gây trồng quy mô lớn tại ven biển Tây Nam bộ cũng khuyến nghị trồng mắm trắng là loài ưu tiên cho trồng mới trên bãi bồi ven sông, ven biển (Thai và nnk, 2019). Theo Lê Văn Thành và nnk, 2023 thì cây mắm trắng sinh trưởng nhanh trên đất có hàm lượng mùn, đạm, lân và kali tổng số từ rất nghèo đến giàu, đất có độ mặn nhiều đến mặn muối và đất bùn cứng đến sét cứng. Tuy nhiên, tại tỉnh Vĩnh Long, đặc biệt là khu vực xã Lưu Nghiệp Anh, các nghiên cứu về ứng dụng cây mắm trắng trong phòng chống sạt lở bờ sông còn hạn chế. Đây chính là khoảng trống cần được bổ sung nhằm cung cấp dữ liệu thực tiễn, làm cơ sở cho việc xây dựng và nhân rộng các mô hình sinh học bền vững.

2. Phương pháp nghiên cứu

- Phương pháp hồi cứu: kế thừa kết quả của các nghiên cứu trước thể hiện trong các nghiên cứu tương tự như cơ sở khoa học lựa chọn vị trí thực nghiệm, chọn trồng cây mắm trắng, tiêu chí đánh giá hiệu quả mô hình.

- Phương pháp điều tra thực địa: Thu thập, điều tra thông số về phương pháp chọn cây và trồng cây mắm trắng, tỷ lệ cây sống (đếm số lượng cây sống và cây chết), giai đoạn cần trồng bổ sung cây (thay thế cây chết hoặc cây kém phát triển), đếm số lượng cây sống và cây chết trên diện tích 2m^2. Đồng thời xác định các thông số chiều cao ngọn, đường kính gốc, đường kính tán, sự phát triển của rễ cây, lượng bùn phù sa giữ lại, giai đoạn cây sinh sản thêm. Thời gian theo dõi được tiến hành mấy 03 tháng 1 lần.

- Phương pháp xử lý số liệu: Sử dụng phương pháp thống kê toán học với sự hỗ trợ của phần mềm Excel để xử lý số liệu, so sánh, phân tích, đánh giá kết quả nghiên cứu. Các bước thực hiện theo sơ đồ hình 1.



Hình 1. Sơ đồ phương pháp nghiên cứu

3. Kết quả và thảo luận

3.1 Giải pháp thiết kế mô hình

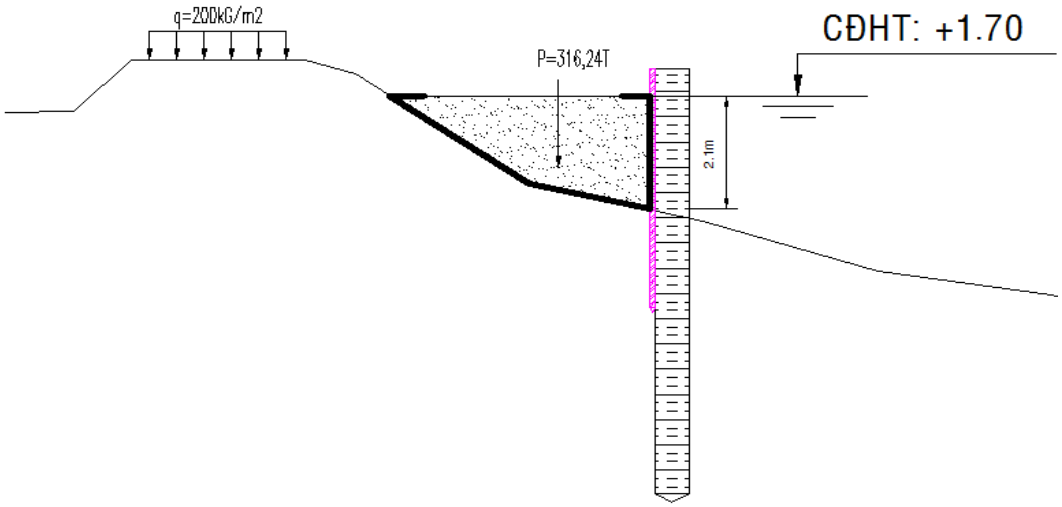
3.1.1 Số liệu về thủy văn và địa chất

Vận tốc dòng chảy là 1,2 m/s, thời gian triều cường lên xuống là 7-8 giờ, mực nước lớn nhất trong năm là +1,78 m, chiều cao sóng do tàu là 0,4 m. Theo báo cáo của công ty cổ phần tư vấn

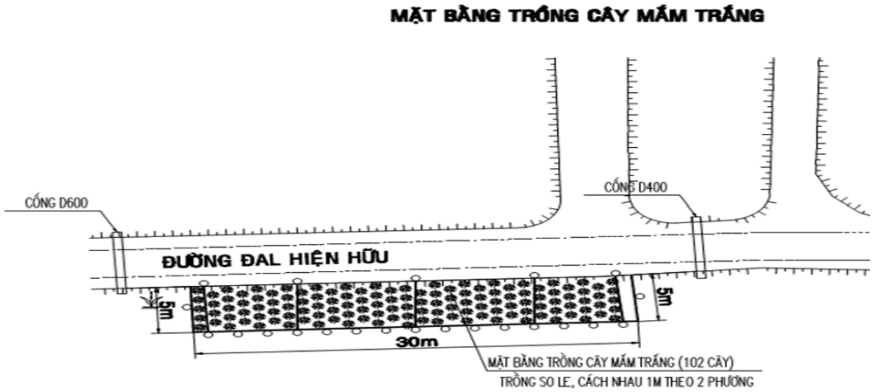
xây dựng Bến Tre (2010) thì địa chất ở khu vực nghiên cứu có lớp 1 là sét màu xám trắng, dày 0,5 m, lớp 2 là sét, màu xám trắng den, trạng thái chảy dày 9,5 m. Theo đó đất đắp vào cho công trình là đất dính với c=0,15 t/m^2, $\varphi = 17^0$.

3.1.2 Giải pháp thiết kế

Nhằm giữa ổn định nền đất đắp chống sạt lở giúp cây mắm trắng phát triển tốt nhất sử dụng giải pháp thiết kế sau: Cừ tràm gia cố mái taluy trong phạm vi sạt lở và ổn định đất đắp với mật độ 10 cây/md, chiều dài cừ tràm sử dụng L=4,5 m đường kính ngọn ≥0,05 m, đường kính gốc ≥0,08 m, chiều sâu đóng ngập trong đất trung bình 2,0 m ngàm vào lớp bùn, sét trạng thái chảy, có cừ Tràm kẹp chỗ liên kết các cọc cừ tràm cùng làm việc ổn định. Cừ Dừa gia cố chống xê dịch ổn định cừ tràm mật độ 01 cây/2md, chiều dài cừ Dừa L=8 m, chiều sâu đóng ngập trong đất khoảng 5,5 m ngàm vào lớp sét pha trạng thái dẻo chảy. Ngoài ra để chống xê dịch đảm báo tính ổn định của cừ Dừa kết hợp cừa tràm neo giữa cừ Dừa bằng thép $\phi 10$ (cừ tràm được bố trí trong phạm về nền đường ổn định chiều sâu ngàm cừ Tràm 5,5 m vào lớp sét pha). Trước khi tiến hành đắp đất ổn định mái ta luy sạt lở bố trí lớp vải mùn lót đáy chống mất đất đắp, vải mùn bố trí bao bọc toàn bộ khối đất đắp, thời gian ổn định lâu dài trong nền đất ẩm ướt khoảng 2 ÷ 3 năm đủ thời thực vật phát triển trưởng thành cắm rễ vào đất qua khung trượt. Đất đắp sử dụng loại đất bùn, được lựa chọn loại đất phù hợp trồng cây để đắp. Chiều dài mô hình là 30 m, bề rộng là 5 m, trồng cây mắm trắng cự ly là 1 m được bố trí như hình 2, 3.



Hình 2. Sơ đồ tính áp lực đất đắp lên hàng cừ tràm gia cố kết hợp cừ dừa



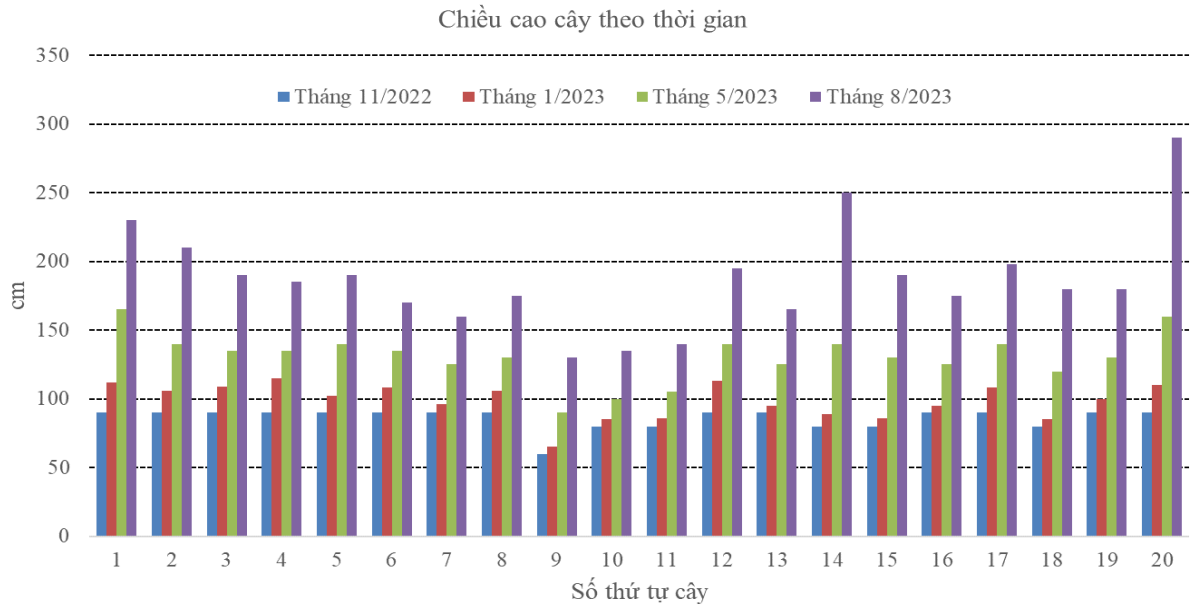
Hình 3. Sơ đồ trồng cây mắm trắng

3.2 Kết quả của mô hình

Để theo dõi cây mắm trắng thì đặt tên cây theo thứ tự từ 01 đến 20 ngẫu nhiên trong nhóm 120 cây, khi đó sẽ đo chiều cao cây theo tháng để theo dõi sự phát triển chiều cao của cây. Kết quả phát triển chiều cao của cây thể hiện trong bảng 1 và hình 4.

Bảng 1. *Chiều cao (cm) của cây mắm Trắng theo thời gian*

Số thứ tự cây	Tháng 11/2022	Tháng 01/2023	Tháng 05/2023	Tháng 08/2023
1	90	112	165	230
2	90	106	140	210
3	90	109	135	190
4	90	115	135	185
5	90	102	140	190
6	90	108	135	170
7	90	96	125	160
8	90	106	130	175
9	60	65	90	130
10	80	85	100	135
11	80	86	105	140
12	90	113	140	195
13	90	95	125	165
14	80	89	140	250
15	80	86	130	190
16	90	95	125	175
17	90	108	140	198
18	80	85	120	180
19	90	100	130	180
20	90	110	160	290



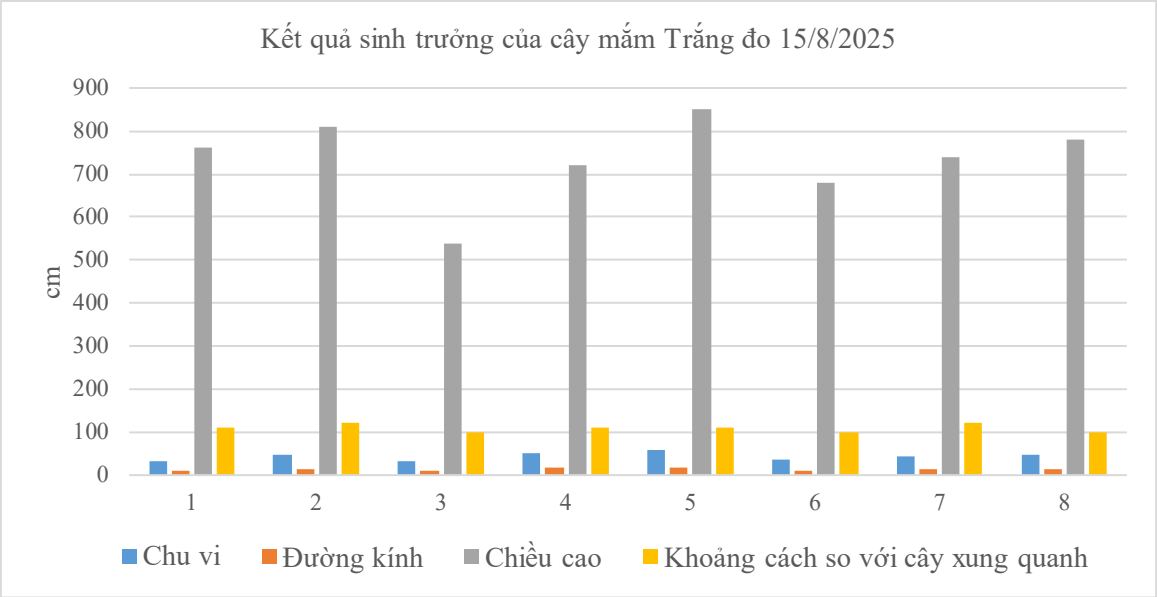
Hình 4. Số cây mắm trắng phát triển theo thời gian 10 tháng (11/2022-8/2023)

Hình 5. Ảnh cây mắm trắng trồng vào tháng 01/2023

Từ hình 4, 5 cho thấy cây mắm Trắng phát triển rất tốt theo thời gian lúc đầu mới trồng tháng 11/2022 mỗi cây có chiều cao trong khoảng từ 60-90 cm, nhưng sau 03 tháng (tháng 01/2023) mỗi cây đều phát triển rất nhanh trung bình từ 85-113 cm. Song song đó, sau 04 tháng (5/2023) cây mắm Trắng cũng phát triển trung bình mỗi cây cao thêm 40 cm. Đặc biệt là tới 8/2023 có những cây cao rất vượt trội là cây số 1 cao 230 cm, cây số 14 cao 250 cm, cây số 20 cao 290 cm cao hơn so với những cây khác trong mô hình khoảng 1m. Từ vị trí thử nghiệm, cho kết quả là nếu nơi nào mà có mà mặt đất bùn cao hơn so với mặt nước cao nhất của sông thì cây đó phát triển nhanh, còn nơi nào mà vị trị mặt đất bùn ngang hoặc thấp hơn mực nước cao nhất của sông thì phát triển chậm hơn so với các cây khác trong mô hình. Từ mô hình thử nghiệm cũng nói lên rằng độ mặn trong sông đã thay đổi theo thời gian nhưng cây mắm trắng vẫn phát triển bình thường. Từ kết quả trên cho thấy, ngoài cây mắm đã phát triển về chiều cao, đường kính thì cây mắm trắng vẫn phát triển rễ lên rất nhiều, đây là điều đặc biệt của cây. Từ đó bộ rễ đó nên đất khu vực thử nghiệm không bị bào mòn mà vẫn giữ đất ổn định theo thời gian mặc dù có sóng hoặc triều cường lên. Mô hình thử nghiệm kè với chiều dài 30 m ngang 5,0 m, chiều sâu 1,2 m trồng 120 cây mắm mỗi cây cách nhau 1m có tổng cộng 120 triệu đồng, nếu so với kè làm bằng bê tông cốt thép thì tiết kiệm hơn nhiều.

Bảng 2. *Chu vi, đường kính và chiều cao cây mắm trắng đo được 8/2025*

STT	Chu vi	Đường kính	Chiều cao	Khoảng cách so với cây xung quanh
1	34	11	760	110
2	46	15	810	120
3	31	10	540	100
4	50	16	720	110
5	57	18	850	110
6	36	11	680	100
7	43	14	740	120
8	46	15	780	100



Hình 6. Chu vi, đường kính và chiều cao cây

Hình 7. Toàn cảnh khu trồng 8/2025

Từ việc trồng mắm trắng trong tường cừ làm từ vật liệu tự nhiên là cây Dừa và cây Cừ Tràm đã giữ vững được bờ sông, chống được sạt lở. Cây mắm sinh trưởng tốt, cây phù hợp với môi trường nơi đây, số lượng cây sống và sinh trưởng mạnh >90% giúp cho việc chống sạt lở bờ sông càng trở nên bền vững với thời gian do sự tự sinh trưởng và nhân giống tự nhiên của loại cây này. Qua thời gian 2,5 năm chứng minh được mô hình này chống được sạt lở, chịu được các tác động từ tự nhiên, con người, yếu tố vật lý,... mà nghiên cứu trước đã đề cập như: Do tác động của giao thông đường thủy chiếm 44,12%; do tác động của sóng và thủy triều chiếm 29,41%; do nạo vét lòng sông và đắp nền đường chiếm 17,65%; do địa chất yếu và vị trí gần cửa cống không có kè gia cố 8,82%; Tường kết hợp cừ Dừa và cừ Tràm được thiết kế trong nghiên cứu trước đó đã đảm bảo vai trò là tường tạm trong thời gian chờ cây mắm sinh trưởng đủ khả năng bám trụ, giữ ổn định bờ sông nhờ đặc tính của loài cây này là có bộ rễ khỏe, bám trụ sâu và tạo hệ sinh thái bãi bồi. So sánh với 1 vài vị trí lận cận khu vực mô hình thực nghiệm cho thấy sự mất ổn định bờ sông là rõ rệt, nhiều vị trí bờ sông bị bào mòn từ 1-2m trong thời gian 2,5 năm qua, có vị trí bờ sông đã

mất hoàn toàn, làm hư hỏng hoàn toàn đường đal giao thông trên tuyến và đã được gia cố lại với hệ cừ Dừa và thi công mới đường đal (bảng 2, hình 6 và hình 7).

Vấn đề sạt lở bờ sông hiện nay đang mang tính thời sự, cấp thiết, các sự việc, sự vụ diễn ra xuất hiện với tần suất ngày một nhiều trên báo đài. Vì vậy cần nhân rộng, đại trà các biện pháp chống sạt lở bờ sông mang tính bền vững, vật liệu xanh. Ngoài ra, cần ngày càng hoàn thiện mô hình để tối ưu chi phí. Tường kết hợp cừ Dừa và cừ Tràm được thiết kế trước đó có thể là quá khỏe hoặc yếu so với sự thay đổi địa hình phức tạp của bờ sông, với mô hình đã thực hiện thì chi phí xấp xỉ 4 triệu VNĐ / mét dài với 2 tường cừ Dừa chịu lực. Trong đó, thi công tường Dừa cần cơ giới lớn, chi phí nhân công ca máy cao hơn nhiều so với thi công cừ Tràm, làm cho giá thi công cao, nếu có thể cấu tạo lại hệ tường cừ chịu lực, thay thế hoàn toàn cừ Dừa bằng cừ tràm, chia nhỏ phạm vi chịu lực sao cho cừ Tràm hoặc Tre, nguồn vật liệu sẵn có tại vùng cần thi công có thể đảm bảo giữ ổn định trong thời gian chờ cây Mắm sinh trưởng đủ lớn để bảo vệ bờ sông. Thêm vào đó, từ hình ta thấy mắm trắng có khả nang giữ đất rất tốt, sau 2.5 năm trồng thì khu vực trồng giữ đất dày thêm khoảng 20 cm tùy vào vị trí. Tuy vậy, biện pháp này nên cần có thực nghiệm kiểm chứng trước khi thi công đại trà.

4. Kết luận và kiến nghị

Kết quả nghiên cứu cho thấy việc trồng mắm trắng là một giải pháp sinh học hiệu quả trong công tác phòng chống sạt lở bờ sông tại xã Lưu Nghiệp Anh, tỉnh Vĩnh Long. Hệ rễ chùm và rễ chống phát triển mạnh của mắm trắng đã góp phần giữ đất, giảm sóng, ổn định bờ sông, đồng thời hạn chế tốc độ xói mòn rõ rệt so với những khu vực không được trồng cây. Bên cạnh tác dụng phòng hộ, rừng mắm trắng còn mang lại nhiều lợi ích bổ sung như cải thiện cảnh quan môi trường, tăng đa dạng sinh học thủy sinh, giảm thiểu tác động tiêu cực của biến đổi khí hậu và nước biển dâng, đồng thời tạo điều kiện thuận lợi cho sinh kế bền vững của cộng đồng địa phương. Tuy nhiên, để phát huy tối đa hiệu quả, việc trồng và quản lý mắm trắng cần gắn liền với công tác quy hoạch tổng thể phòng chống sạt lở, kết hợp giữa biện pháp sinh học và công trình, cũng như sự tham gia tích cực của cộng đồng. Ngoài ra, cần có chính sách hỗ trợ kỹ thuật, tài chính và cơ chế quản lý nhằm duy trì và mở rộng diện tích rừng mắm trắng, bảo đảm tính bền vững lâu dài. Từ những kết quả trên, nghiên cứu khẳng định rằng trồng mắm trắng là giải pháp phù hợp, khả thi và bền vững để phòng chống sạt lở bờ sông tại xã Lưu Nghiệp Anh nói riêng và các khu vực ven sông của tỉnh Vĩnh Long nói chung, góp phần bảo vệ môi trường và phát triển kinh tế - xã hội địa phương.

Khuyến nghị

- Mở rộng diện tích trồng mắm trắng tại các đoạn bờ sông có nguy cơ sạt lở cao, đặc biệt ở những khu vực có đất phù hợp và dễ gây bồi lắng.

- Kết hợp biện pháp sinh học và công trình: sử dụng mắm trắng làm giải pháp "mềm" đi đôi với kè sinh thái hoặc công trình cứng ở những vị trí xói lở nghiêm trọng để tăng hiệu quả bảo vệ bờ.

- Nghiên cứu bổ sung và theo dõi lâu dài: tiến hành các nghiên cứu về khả năng thích ứng của mắm trắng trước biến đổi khí hậu, mực nước dâng, cũng như hiệu quả kết hợp với các loài cây khác.

Tài liệu tham khảo

An T.N. Dang, Lalit Kumar, Michael Reid, Lu N.T. Anh, 2021. Modelling the susceptibility of wetland plant species under climate change in the Mekong Delta, Vietnam. *Ecological Informatics*, Volume 64, September 2021, 101358, https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101358

Chu Van Cuong, Sharon Brown Huynh Huu To, Marc Hocking, 2015. Using melaleuca fences as soft coastal engineering for mangrove restoration in Kien Giang, Viet Nam. *Ecological Engineering,* Volume 81, *August 2015, Pages 256-265.*

Công ty cổ phần tư vấn xây dựng Bến Tre (2010). *Báo cáo kết quả khảo sát địa chất công trình.*

Hoang Hanh Nguyen, Quoc Huy Nguyen, Minh Duc Nguyen, Duy Manh Nguyen, Ngoc Cuong Le, Van Luan Truong, Thi Mai Sen Tran, 2024. Status of riverbank erosion and proposal of bioengineering solutions in saline areas. Case study in Lung Tram river, Tan Hung Tay commune, Phu Tan district, Ca Mau province, Viet Nam. *International Journal of Technical & Scientific Research Engineering*, ISSN: 2581-9259, Volume 7 Issue 2.

Manon Besset, Nicolas Gratiot, Edward J. Anthony, Frederic Bouchette, Marc Goichot, Patrick Marchesiello, 2019. Mangroves and shoreline erosion in the Mekong River delta, Viet Nam. *Estuarine, Coastal and Shelf Science, Volume 226, Issue 15, 106263. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106263*

Nguyễn Nguyên Hằng, Mai Trọng Nhân và Đặng Ngọc Bích, 2023. Đánh giá kết quả áp dụng mô hình giải pháp mềm bảo vệ bờ vùng cửa sông, ven biển bán đảo Cà Mau. *Tạp chí Nông nghiệp và phát triển nông thôn,* trang 113-120.

Lê Văn Thành, Hà Đình Long, Phạm Ngọc Thành, Tạ Văn Hân, Đoàn Thanh Tùng, Trương Quang Trí, Nguyễn Xuân Đài, Hà Văn Năm, Nguyễn Út Nhỏ, 2023. Thực trạng và điều kiện lập địa gây trồng mắm trắng ở vùng ven biển Tây Nam Bộ. *Tạp chí Khoa học Lâm Nghiệp*, số 5, ISSN: 1859-0373.

Linh Thuy My Nguyen, Hanh Thi Hoang, Eunho Choi, Pil Sun Park, 2023. Distribution of mangroves with different aerial root morphologies at accretion and erosion sites in Ca Mau Province, Vietnam. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *287*, Article 108324. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2023.108324.

Linh Thuy My Nguyen, Hanh Thi Hoang, Han Van Ta, Pil Sun Park, 2020. Comparison of mangrove stand development on accretion and erosion sites in Ca Mau, Vietnam. *Forests*, *11*(6), Article 615. https://doi.org/10.3390/F11060615

Thai Thanh Luom, Bui Xuan Khanh, 2019. Genetic characteristics and nine trial species growing forests in the coastal alluvial soil in the South-West of the Mekong River Delta in Vietnam. Journal of Advancements in Plant Science, Volume 2, issue 2, pp. 1-10.

Assessment of the effectiveness of planting white mangrove to prevent riverbank erosion: case study in Luu Nghiep Anh comune Vinh Long province

Huynh Huu Tri[1], Ngo Gia Truyen[1*], Nguyen Thanh Cong[1], Huynh Van Hiep[1]
[1]College of Engineering and Techonology, Tra Vinh University.
**Corresponding author: Email: giatruyen@tvu.edu.vn*

Abstract

Riverbank erosion is becoming a serious challenge in Vinh Long province, particularly in Luu Nghiep Anh commune, where it is strongly affected by river flows and climate change. This study focuses on evaluating the effectiveness of planting *Avicennia alba* as a biological solution to prevent erosion. The results indicate that white mangrove forests have the ability to retain soil, reduce wave energy, stabilize riverbanks, and provide multiple co-benefits such as improving the environment, enhancing biodiversity, and supporting local livelihoods. However, to achieve optimal effectiveness, mangrove planting should be combined with engineering measures and active participation of local communities in management. The study confirms that planting *Avicennia alba* is a sustainable, feasible, and appropriate solution for riverbank erosion control in Vinh Long, contributing to environmental protection, livelihood stability, and local socio-economic development.

Keywords: *Avicennia alba*; erosion control; soil retention; Vinh Long

NGHIÊN CỨU MỘT SỐ NỘI DUNG THIẾT KẾ VÀ CÔNG NGHỆ THI CÔNG CỌC ĐÁ DĂM GIA CỐ NỀN -KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG TRONG GIA CỐ NỀN ĐƯỜNG Ô TÔ KHU VỰC ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG

Phạm Văn Hùng[1,*], Trần Phú Thanh[2]

[1]Trường Đại học Mỏ - Địa chất

[2]Công ty Cổ phần Bất động sản Kiên Giang

**Tác giả liên hệ: Email: phamvanhung@humg.edu.vn*

Tóm tắt

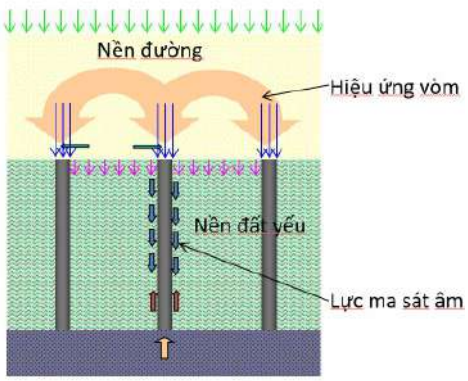
Công nghệ gia cố nền đất yếu bằng cọc đá dăm đã được áp dụng trên nhiều quốc gia trên thế giới nhờ công nghệ thi công đơn giản, giá thành thấp do sử dụng được nguồn vật liệu địa phương và thời gian thi công nhanh. Tại Việt Nam, mặc dù đã ban hành tiêu chuẩn cơ sở TCCS 66:2015/IBST năm 2015 nhằm hướng dẫn thi công và nghiệm thu cọc đá dăm đầm rung sâu. Nhưng thực tế đến nay, việc triển khai ứng dụng công nghệ vẫn còn hạn chế nhiều mặt. Bài báo tiến hành phân tích tổng quan công nghệ gia cố nền đất yếu bằng cọc đá dăm, trình tự và nội dung thiết kế. Kết quả bài báo cho thấy rằng khi thiết kế nền đất được gia cố bằng cọc đá dăm cần phải kiểm toán đồng thời điều kiện về sức chịu tải của nền đất, sức chịu tải của cọc và độ lún của nền gia cố. Công nghệ gia cố nền đất yếu bằng cọc đá dăm có khả năng ứng dụng cho các dự án đường ô tô khu vực đồng bằng sông Cửu Long.

***Từ khóa**:* Cọc đá dăm; gia cố; sức chịu tải; độ lún; đồng bằng sông Cửu Long.

1. Tổng quan công nghệ gia cố nền bằng cọc đá dăm

Cọc đá dăm là giải pháp gia cố nền đất yếu dựa trên nguyên lý tương tự như cọc cát, đó là vật liệu đá dăm vào chiếm chỗ của đất yếu tạo ra hệ thống các cọc có đặc tính cơ học và vật lý cao. Ngoài ra, đất yếu ban đầu được nén chặt lại nhờ đó cải thiện được tính chất của phần đất quanh cọc. Nhờ vậy, nền đất sau khi gia cố sẽ tăng khả năng chịu tải và giảm lún, đồng thời tốc độ cố kết được tăng nhanh.

Nhờ sự khác biệt về độ cứng của vật liệu cọc đá dăm và đất xung quanh cọc, vùng đất quanh cọc lún nhiều hơn so với cọc. Phần khối đắp phía trên vùng đất quanh cọc có xu hướng dịch chuyển cùng. Phần khối đắp phía trên đầu cọc sẽ cản trở dịch chuyển của khối đất trên phía phần đất quanh cọc, nhờ nhận thêm một phần lực ma sát từ khối bên cạnh truyền xuống, ứng suất tác dụng xuống đầu cọc được tăng lên, và đồng thời giảm ứng suất tác dụng xuống vùng đất cạnh cọc. Hiện tượng này được gọi là *hiệu ứng vòm* (Pham và Dias, 2019) (Hình 1).



Hình 1. Hiệu ứng vòm trong nền đường đắp trên đất gia cố bằng cọc đá dăm (Pham và Dias, 2019)

Hầu hết các phương pháp xử lý hoặc gia cố nền đất yếu được phát triển để nhằm giải quyết hai vấn đề chính đó chính là làm tăng sức chịu tải của nền đất yếu và giảm độ lún. Kỹ thuật gia cố nền đất yếu bằng cọc đá dăm có một số điểm ưu việt, cụ thể: Cọc đá dăm cùng với đất nền xung

quanh hình thành một khối nền có tính nén lún thấp và sức chống cắt cao. Thêm vào đó, nếu đất nền là đất rời thì đất nền giữa các cọc đá dăm cũng được đầm chặt thêm, hiệu quả của cọc đá dăm bao gồm: tăng cường khả năng chịu tải của nền; giảm độ lún tổng cộng và độ lún lệch của kết cấu; giảm nguy cơ hóa lỏng nền của cát; gia tăng tốc độ lún cố kết, từ đó rút ngắn thời gian cố kết. Tính "linh động" của cọc đá dăm cho phép nền sau khi gia cố có thể chịu được tải trọng lớn mà không bị phá hoại cục bộ. Tức là đất nền không bị phá hoại do biến dạng lớn so với các loại vật liệu khác có tính dòn có thể bị phá hoại chỉ với mức độ biến dạng nhỏ. Ngoài chức năng là thành phần chịu lực chính, cọc đá dăm còn có chức năng thoát nước giúp thúc đẩy quá trình cố kết của đất nền xung quanh dẫn đến tăng tính chất cơ lý.

Mức độ gia cố của cọc đá dăm phụ thuộc đáng kể vào tính chất của đất nền, đường kính và khoảng cách giữa các cọc. Sơ đồ bố trí lưới cọc và khoảng cách giữa các cọc được xác định dựa vào giá trị tải trọng, tính chất của đất nền và yêu cầu kỹ thuật như sức chịu tải, hệ số an toàn, độ lún cho phép. Đường kính của cọc đá dăm thường từ 0,5m đến 1,2m, khoảng cách giữa các cọc từ 1,5m đến 2,5m. Chiều sâu của cọc tùy thuộc vào cấu trúc nền, thường từ 6m đến 20m. Trường hợp đặc biệt, khi lớp đất yếu có chiều dày lớn, chiều dài của cọc có thể đến 30m.

Cọc đá dăm là giải pháp xử lý nền đất được áp dụng để gia cố nền cho các công trình đường giao thông, thủy lợi, cảng biển, công trình công nghiệp và dân dụng… Công nghệ đã được nghiên cứu từ thập kỷ 30 của thế kỷ 20 và được ứng dụng mạnh mẽ vào thập kỷ 70 thế kỷ 20. Cho đến nay, công nghệ đã được áp dụng rộng rãi ở các nước Tây Âu, Bắc Mỹ và Nhật Bản. Cơ sở tính toán khả năng chịu tải và độ lún của cọc được Priebe đề xuất và phát triển. Trong đó đã phát hành bản thiết kế cọc đá dăm đầu tiên vào năm 1976, đến năm 1995 chỉ dẫn thiết kế cọc đá dăm theo phương pháp của Priebe chính thức được áp dụng vào thực tế. Phương pháp thiết kế tiếp tục được phát triển bởi các tác giả Madhav và Vitkar (1978); Madhav và nnk. (1979); Aboshi và nnk, 1979 trong việc xây dựng công thức tính toán sức chịu tải của cọc đá dăm và tính toán độ lún của nền.

Cùng với những thành tựu trong lý thuyết tính toán thiết kế cọc đá dăm thì công nghệ thi công và chế thiết bị cũng được nghiên cứu và phát triển. Hãng Keller đã phát triển thiết bị đầm rung sâu đất thành thiết bị đầm rung sâu thi công cọc đá dăm. Và dần được hoàn thiện và phát triển thành tiêu chuẩn sử dụng của các quốc gia như FGFS (1979) của Đức, USDT (1983) của Mỹ, WG12 (2003) của Cộng đồng các quốc gia Châu Âu. Đây là các cơ sở pháp lý và kỹ thuật góp phần thúc đẩy sự phát triển của công nghệ thi công cọc đá dăm cho đến như ngày nay.

Ở Việt Nam, công nghệ cọc đá dăm trong gia cố nền được áp dụng tương đối muộn, từ những 2008 trở về đây, tại một số dự án có vốn đầu tư nước ngoài như nhà máy công nghiệp, cảng biển và hóa lọc dầu như Nhà máy Inter Flour, nhà máy Vifon, bãi đóng giàn khoan PTSC, nhà máy hóa lọc dầu Nghi Sơn… Trong các dự án đó, hồ sơ thiết kế và biện pháp thi công đều sử dụng các tiêu chuẩn và thiết bị từ nước ngoài.

Đồng bằng Cửu Long là khu vực có mật độ xây dựng cao. Tuy nhiên, mật độ đất yếu chiếm tỷ lệ lớn. Trong những năm gần đây, khu vực có rất nhiều các tuyến đường ô tô cao tốc được phê duyệt chủ trương đầu tư có kinh phí lên đến vài chục nghìn tỷ. Vì vậy việc nghiên cứu các công nghệ gia cố nền đường phù hợp sẽ đem lại hiệu quả kinh tế và đảm bảo yêu cầu kỹ thuật công trình.

Do những đặc điểm nêu trên vấn đề nghiên cứu nhằm ứng dụng công nghệ cọc đá dăm gia cố nền đất yếu cho các dự án đường giao thông khu vực đồng bằng sông Cửu Long có ý nghĩa kinh tế và kỹ thuật. Bài báo sẽ làm sáng tỏ một số nội dung liên quan đến nội dung thiết kế về sức chịu tải của cọc đá dăm, độ lún của nền. Ngoài ra, thông qua việc phân tích điều kiện địa chất công trình khu vực đồng bằng Cửu Long, để đánh giá sự phù hợp của công nghệ gia cố nền bằng cọc đá dăm cho các tuyến đường giao thông tại khu vực.

2. Một số nội dung thiết kế cọc đá dăm

2.1 Xác định hệ số cải tạo nền, n

Dựa trên lý luận của Priebe, cọc đá dăm không bao giờ bị phá hủy vì là phần tử chịu lực và bất kỳ độ lún nào của vùng chịu tải đều dẫn đến cọc bị phồng lên mặc dù thể tích không đổi trên toàn bộ chiều dài của nó. Sự cải thiện của đất đạt được trong điều kiện như vậy bằng cách lắp đặt các cọc đá dăm được đánh giá dựa trên giả định rằng vật liệu cọc đá dăm bị cắt ngay từ đầu trong khi đất xung quanh phản ứng đàn hồi. Hơn nữa, đất xung quanh cọc được giả định là đã giãn nở trong quá trình lắp đặt cọc đá dăm.

- Phương pháp của hệ số cải tạo nền n_0 cơ bản:

$$n_0 = 1 + \frac{A_c}{A}\left[\frac{\frac{1}{2} + f\left(v_s, \frac{A_c}{A}\right)}{K_{ac} f\left(v_s, \frac{A_c}{A}\right)} - 1\right] \quad (1)$$

Trong đó:

$$f\left(v_s, \frac{A_c}{A}\right) = \frac{(1 - v_s)\left(1 - \frac{A_c}{A}\right)}{1 - 2v_s + \frac{A_c}{A}} \quad (2)$$

và

$$K_{ac} = tan^2\left(45 - \frac{\phi_c}{2}\right) \quad (3)$$

Với ϕ_c là góc ma sát trong của cọc đá dăm; A_c là diện tích mặt cắt ngang cọc đá dăm; A: tổng diện tích phần được gia cố và chưa gia cố; v_s là hệ số Poisson của đất.

Khi xem xét cọc chịu nén lún dưới tác dụng của tải trọng, đối với đất chưa bị xáo động, việc áp dụng hệ số Poisson là v_s = 1/3, cho trạng thái lún cuối cùng trong hầu hết các trường hợp, dẫn đến biểu thức xác định được hệ số cải tạo nền.

$$n_1 = 1 + \frac{\overline{A}_c}{A}\left[\frac{5 - \frac{\overline{A}_c}{A}}{4K_{ac}\left(1 - \frac{\overline{A}_c}{A}\right)} - 1\right] \quad (4)$$

Với

$$\frac{\overline{A}_c}{A} = \frac{1}{\frac{A_c}{A} + \Delta\left(\frac{A_c}{A}\right)} \quad (4a)$$

Trong đó đó tỷ số diện tích tăng lên $\Delta(A_c/A)$ của (A_c/A) được xác định bởi công thức (4b).

$$\Delta\left(\frac{A_c}{A}\right) = \frac{1}{\left(\frac{A_c}{A}\right)_1} - 1 \quad (4b)$$

$(A_c/A)_1$ là tỷ lệ diện tích mặt cắt ngang cọc đá dăm và diện tích gia cố sau khi cọc bị nén lún.

2.2. Tính toán về sức chịu tải

Hiện nay có một số phương pháp giải tích khác nhau nhằm ước tính sức chịu tải tối đa của cọc đá dăm theo một số điều kiện làm việc như khi cọc chịu cắt, cọc bị nở hông và khi xuất hiện mặt trượt.

Nhóm tác giả Madhav và Vitkar (1978); Madhav và nnk. (1979) đề xuất phương pháp giải tích xác định sức chịu tải của cọc khi chịu cắt và khi cọc bị nở hông, trong công thức (5), (6):

$$q_{ult} = (\sigma_{ro} + 4c_o + K_o q_s)\frac{1 + sin\phi_c}{1 - sin\phi_c} - \left(\frac{W}{B}\right)^2 + \left(1 - \frac{W}{B}\right)^2 q_s \quad (5)$$

$$q_{ult} = c_o N_c + \frac{1}{2}\gamma_c B N_\gamma \quad (6)$$

Trong đó, c_o là lực dính đơn vị của đất; K_o là hệ số áp lực của đất ở trạng thái nghỉ; q_s là sức chịu tải của đất yếu; σ_{ro} là ứng suất ngang tác dụng lên cọc trạng thái ban đầu; W là bề của khối nêm; B là bề rộng tải trọng tác dụng; ϕ_c là góc ma sát trong của vật liệu cọc; γ_c là trọng lượng thể tích đơn vị của vật liệu cọc; N_c, N_γ tương ứng là hệ số sức chịu tải không thứ nguyên, phụ thuộc vào góc ma sát trong của đất yếu.

Ngoài ra, để xem xét trường hợp xuất hiện mặt trượt, nhóm tác giả Aboshi và nnk. (1979) trình bày phương pháp xác định sức chịu tải của cọc đá dăm như trong công thức (7).

$$q_{ult} = (1 - a_s)c_o + (\gamma_c z + \mu_s \sigma_z)a_c tan\phi_c cos^2\theta \quad (7)$$

$$\mu_c = \frac{1}{1 + (n-1)a_c}$$

Với θ là góc dốc của mặt trượt tại mỗi cọc; c_o là lực dính đơn vị của đất; γ_c là khối lượng thể tích đơn vị của cọc đá dăm; $\mu_c\sigma_z$ là sự gia tăng của ứng suất do tải trọng khối đắp bên trên; μ_c là hệ số giảm độ lún; σ_z là ứng suất tác dụng lên nền đất yếu khi nền chưa gia cố; a_c là hệ số mật độ gia cố, a_c = A_c/A; n là hệ số tập trung ứng suất n = σ_c/σ_s, n thường lấy bằng từ 2 đến 6.

2.3. Tính lún đối với nền đất gia cường bằng cọc đá dăm

Nhìn chung các phương pháp tính lún đối với nền gia cố bằng cọc đá dăm thường dựa trên giả thiết rằng một bề mặt chịu tải vô hạn, được gia cường với các cọc rời có đường kính và khoảng cách không đổi. Khi đó giả thiết về một nền đơn vị lý tưởng, chịu tải của một tấm bản cứng được coi là phù hợp và tương đương với thí nghiệm cố kết một chiều. Nền đơn vị được giới hạn bởi một bức tường cứng không có ma sát và biến dạng theo chiều thẳng đứng tại bất kỳ mặt bằng nào cũng đều như nhau. Một số phương pháp tính lún cho nền gia cường được đề xuất theo Priebe (1976) và Aboshi và nnk. (1979).

a) Phương pháp của Priebe (1976), độ lún của nền gia cố bằng với độ lún của cọc đá dăm, và được tính theo (8).

$$s_\infty = \sigma \frac{d}{D_c.n_2} \quad (8)$$

Với n_2 là hệ số cải tạo nền, D_c là đường kính của cọc đá dăm; σ là ứng suất tác dụng lên cọc; d là chiều dày lớp đất được gia cố.

b) Phương pháp cân bằng của Aboshi và nnk. (1979), tính lún cho cả khối gia cố theo (9).

$$S_t = m_v \mu_c \sigma H$$

$$R = \mu_c = \frac{1}{1 + (n-1)a_c} \quad (9)$$

Với m_v là mô đun biến dạng thể tích của nền gia cố; H là chiều dày lớp đất gia cố; σ ứng suất tác dụng lên lớp đất.

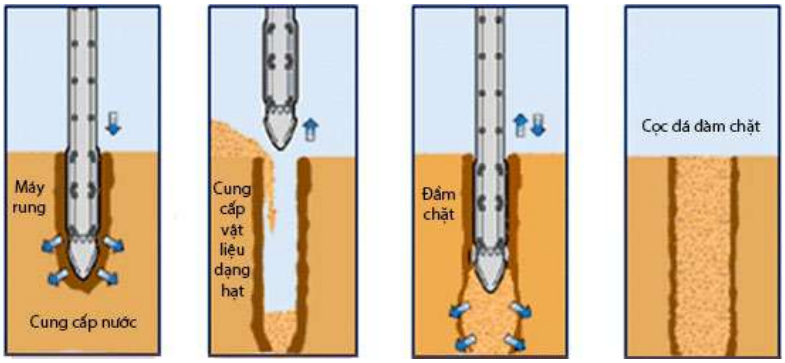
3. Công nghệ thi công cọc đá dăm gia cố nền đất yếu

Dù sử dụng phương pháp hay công cụ nào đi chăng nữa, cọc đá dăm thường được thi công theo quy trình cụ thể: (1) tạo lỗ hình trụ và đảm bảo ổn định hố đào dưới lòng đất, (2) lấp đầy lỗ bằng các vật liệu dạng hạt và kết hợp đầm chặt theo lớp. Vật liệu dạng hạt này thường là sỏi hoặc đá nghiền. Việc thi công xây dựng các cọc đá dăm có thể được phân loại thành ba phương pháp (Smadi, 2016).

3.1. Phương pháp khoan rung - thay thế (vibro-replacement)

Trong phương pháp này, một lỗ hình trụ được hình thành dưới lòng đất xuống độ sâu mong muốn bằng đưa mũi khoan và xối nước. Đá dăm được cấp từ bên trên theo dòng chất lỏng xuống

phía dưới đáy lỗ khoan, và được đầm chặt từng lớp nhờ phần thiết bị rung tại đầu mũi khoan (Hình 2). Với phương pháp khoan sâu, đường kính cọc thông thường từ 0,8m đến 1m.



Hình 2. Phương pháp khoan sâu (Smadi, 2016)

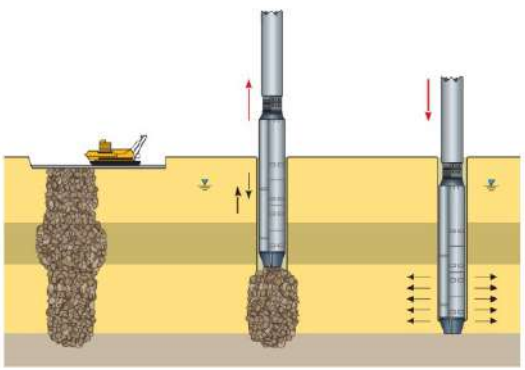
3.2 Phương pháp khoan rung - di chuyển (vibro-displacement)

Phương pháp sử dụng áp lực khí nén tạo ra lực rung của cần khoan, giúp cho mũi khoan đi sâu vào lòng đất. Theo phương pháp này thì đất trong phạm vi cọc không được lấy ra mà bị ép sang bên của thành ống khoan. Đá dăm được đưa xuống đáy lỗ khoan thông qua lỗ bên trong cần khoan. Từng lớp đá dăm được đầm chặt nhờ thiết bị rung tại mũi khoan, phương pháp còn được gọi là *phương pháp đầm rung sâu*. Đường kính của cọc đá dăm của phương pháp này thường nhỏ hơn, đường kính khoảng 0,6 m. Quy trình công nghệ phương pháp đầm rung sâu được thể hiện trong Hình 3.

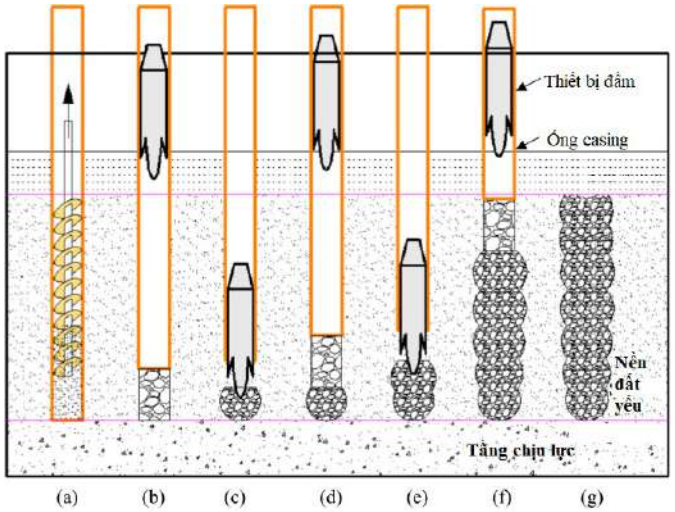
3.3 Phương pháp khoan tạo lỗ trước (rammed stone column)

Khoan tạo lỗ trước là một phương pháp cổ điển mà cọc đá dăm được thi công theo nhiều giai đoạn. Lỗ khoan được hình thành do ống casing được đóng xuống, sau lấy đất ra. Sau đó, đá dăm được đưa vào lỗ khoan từ phía trên hoặc nạp từ phía đáy. Ống casing sẽ được rút dần lên trong quá trình lấp đầy từng lớp đá dăm. Công tác đầm chặt các đá dăm trong các lỗ khoan trước được thực hiện thông qua trọng lượng quả đầm (Hình 4). Phương pháp thi công bằng khoan tạo lỗ trước có chi phí thấp do không yêu cầu thiết bị hiện đại, nhưng thi công tương đối chậm và không kinh tế khi độ sâu gia cố vượt quá 15m. Ngoài ra, nó không thích hợp để cải tạo đất nhạy cảm.

Vật liệu dạng hạt được nạp (nhồi) vào chủ yếu bằng hai cách. Kỹ thuật nạp đáy có nghĩa là "đá dăm có thể được nạp từ một phễu gắn trên giàn qua một ống phân phối cố định dọc theo mặt của cần khoan cọc, ống này uốn cong vào trong và cho phép đá thoát ra ở mũi cần khoan cọc". Kích thước hạt vật liệu được sử dụng trong hệ thống cấp liệu đáy là từ 15 từ 45 mm. Kỹ thuật cấp liệu đáy thích hợp cho các trường hợp mực nước ngầm cao hoặc độ bền cắt không thoát nước nhỏ, tức là 15 đến 50 kPa. Kỹ thuật nạp từ trên xuống và kích thước các hạt này lớn hơn một chút so với hệ thống nạp liệu từ dưới lên, tức là 40 đến 75 mm. Kỹ thuật này phù hợp hơn với đất dính ổn định và không nhạy cảm với sức chống cắt không thoát nước tương đối cao, tức là 30 từ 60 kPa, hoặc khi mực nước ngầm thấp.



Hình 3. Phương pháp đầm rung sâu (Smadi, 2016)



Hình 4. Phương pháp khoan tạo lỗ trước (Smadi, 2016)

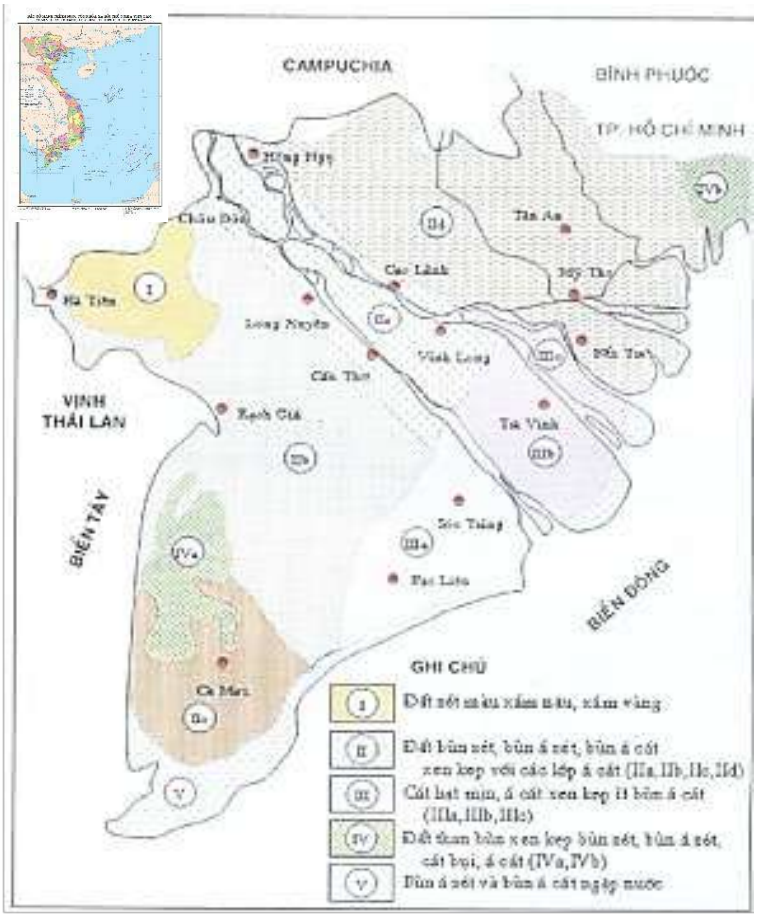
4. Khả năng ứng dụng công nghệ cho các dự án đường giao thông khu vực đồng bằng sông Cửu Long

4.1 Điều kiện địa chất công trình

Đất yếu phân bố rộng rãi ở đồng bằng Cửu Long (Hình 5), thường nằm ngay trên mặt phổ biến nhất là các loại đất yếu như bùn sét, bùn sét pha, sét pha và sét trạng thái dẻo chảy đến chảy, có nơi kẹp cát, cát pha, một số nơi gặp đất sét, sét pha trạng thái dẻo cứng - dẻo mềm. Do đa dạng về thành phần, trạng thái và là đối tượng trực tiếp chịu tác động khi xây dựng công trình, nên việc làm sáng tỏ đặc điểm địa chất công trình (nhiễm muối, phèn, thành phần khoáng vật và các tính chất cơ lý) của các loại đất, đặc biệt là đất yếu thuộc trầm tích amQ_2^{2-3} là hết sức quan trọng. Thông qua công tác điều tra, thu thập số liệu, các lỗ khoan khảo sát địa chất, thí nghiệm với các mẫu đất của một số tỉnh vùng ĐBSCL, các giá trị đặc trưng về thành phần, cấu trúc, chỉ tiêu cơ lý, sức kháng cắt và đặc trưng về tính nén lún của đất bùn sét và bùn sét pha ở các tỉnh ven biển đồng bằng sông Cửu Long và quy luật chung về sự biến đổi của chúng.

Theo nghiên cứu của tác giả Đỗ Minh Toàn (2009), các loại đất yếu chủ yếu là đất loại sét yếu, gồm bùn sét, bùn sét pha lẫn cát, màu xám đen; sét, sét pha trạng thái dẻo chảy đến chảy; có chỗ là cát pha, màu xám đen, trạng thái dẻo. Tại một số vùng ở An Giang, Đồng Tháp phần trên trầm tích là các loại đất sét, sét pha, trạng thái dẻo cứng đến dẻo mềm. Như vậy, đất bùn sét và bùn sét pha có diện phân bố rộng, là các loại đất yếu, liên quan đến nhiều đối tượng xây dựng.

Kết quả nén ba trục không cố kết - không thoát nước, thí nghiệm nén một trục có nở hông, thí nghiệm cắt cánh tại hiện trường trong bảng 1 cho thấy rằng, đất yếu bùn sét khu vực đồng bằng sông Cửu Long có sức kháng cắt rất nhỏ, được đặc trưng bởi hai thông số là lực dính đơn vị c chỉ xấp xỉ khoảng 12 kPa và góc ma sát trong φ thường nhỏ hơn 1°. Bên cạnh đó, bảng 1 cho thấy lực dính đơn vị và góc ma sát trong đất bùn sét pha tương ứng khoảng 16 kPa và 1,2°. Thí nghiệm cắt cánh tại hiện trường cho thấy rằng một số tỉnh như Tiền Giang, Trà Vinh, Sóc Trăng và Cà Mau sức kháng cắt không thoát nước xấp xỉ 20kPa. Một số tỉnh như Bạc Liêu, Kiên Giang và Bến Tre có sức kháng cắt không thoát nước tương đối nhỏ dao động khoảng từ 12 kPa đến 16 kPa.



Hình 5. Phân bố đất yếu vùng đồng bằng sông Cửu Long (Đỗ Minh Toàn và Nguyễn Thị Nụ, 2010)

Bảng 1. *Các thông số sức kháng cắt không thoát nước của đất bùn sét (Đỗ Minh Toàn, Nguyễn Thị Nụ, 2013)*

Địa điểm	Nén 3 trục theo sơ đồ UU			Nén 1 trục có nở hông			Cắt cánh hiện trường	
	Số mẫu	c_u, kPa	φ_u, kPa	Số mẫu	q_u, kPa	c_u, kPa	Số điểm TN	s_u, kPa
Tiền Giang	104	10,8	1°16’	12	23,5	11,8	87	20,3
Bến Tre	25	13,0	1°06’	12	22,5	11,2	135	16,4
Trà Vinh	80	15,1	0°1’	70	19,2	9,6	89	21,0
Sóc Trăng	25	12,3	0°56’	13	27,0	13,5	52	17,8
Bạc Liêu	38	12,1	1°17’	18	24,3	12,2	80	12,7
Cà Mau	95	10,3	0°52’	16	18,4	9,2	429	18,4
Kiên Giang	31	11,5	0°1’	17	22,0	11,0	50	16,0

4.2 Khả năng ứng dụng công nghệ

Trong những năm gần đây, khu vực đồng bằng sông Cửu Long là trọng điểm đầu tư về giao thông vận tải, với 7 tuyến đường ô tô cao tốc có tổng chiều dài gần 1.000 km. Các tuyến đường đi qua hầu hết các tỉnh thuộc đồng bằng sông Cửu Long, với các điều kiện địa chất khác nhau. Việc áp dụng công nghệ mới trong việc gia cố và xử lý nền đường phù hợp sẽ đem lại hiệu quả kinh tế, chính trị và xã hội.

Căn cứ vào điều kiện địa chất, chỉ tiêu cơ học của nền, đặc điểm xây dựng, có thể nhận thấy rằng sức kháng cắt không thoát nước của đất yếu các tỉnh Tiền Giang, Trà Vinh, Sóc Trăng, Cà Mau xấp xỉ 20 bằng kPa, việc ứng dụng công nghệ cọc đá dăm trong gia cố nền đất yếu của các tuyến đường giao thông khu vực đồng bằng sông Cửu Long là phù hợp, và dự kiến đem lại hiệu quả to lớn về kinh tế - kỹ thuật. Tuy nhiên, việc vận dụng và triển khai công nghệ vào từng tuyến, từng đoạn tuyến cần phải có những phân tích và đánh giá cụ thể.

5. Kết luận

Phân tích một số nội dung thiết kế và công nghệ thi công cọc đá dăm gia cố nền và đánh giá khả năng ứng dụng công nghệ trong gia cố nền đường ô tô khu vực đồng bằng sông Cửu Long, bài báo đã làm sáng tỏ một số nội dung sau:

- Khi thiết kế cọc đá dăm gia cố nền đất yếu cần phải tính toán hệ số cải tạo nền, là cơ sở để tính toán sức chịu tải và độ lún của nền và cọc đá dăm. Đặc biệt, khi kiểm tra sức chịu tải của cọc, cần phải kiểm tra theo ba điều kiện cọc chịu nở hông, cọc chịu cắt và cọc bị cắt theo mặt trượt sâu.

- Phương pháp tính lún cho nền gia cố (hệ cọc - đất) của Priebe (1976); Aboshi et al. (1979) dựa trên giả thiết rằng độ lún của nền gia cố bằng với độ lún của nền đất xung quanh và bằng độ lún của cọc đá dăm.

- Căn cứ vào điều kiện địa chất, chỉ tiêu cơ học của nền, đặc điểm xây dựng nền đất yếu khu vực đồng bằng sông Cửu Long, thấy rằng sức kháng cắt không thoát nước của đất yếu các tỉnh Tiền Giang, Trà Vinh, Sóc Trăng, Cà Mau xấp xỉ bằng 20 kPa, có thể ứng dụng được công nghệ cọc đá dăm trong gia cố nền đường các tuyến đường giao thông.

Tài liệu tham khảo

Aboshi, H., Ichimoto, E., Enoki, M., and Harada, K. (1979). The 'Compozer'-a method to improve characteristics of soft Clays by inclusion of large diameter sand columns. In: *Proceeding, international conference on soil reinforcement*, pp 211-216.

Pham Van Hung and Daniel Dias (2019). 3D Numerical Modeling of a Piled Embankment under Cyclic Loading. *International Journal of Geomechanics*, Volume 19, Issue 4.

Madhav, M.R., Vitkar, P.P. (1978). Strip footing on weak clay stabilized with a granular trench or pile. *Canadian Geotechnical Journal*, Volume 15, Issue 4, pp. 605-609.

Madhav, M.R., Iyengar, N.G.R., Vitkar, R.P., and Nandia, A. (1979). Increased bearing capacity and reduced settlements due to inclusions in soil. In: *Proceeding of International Conference on Soil Reinforcement: Reinforeced and other techniques*, Vol. 2, pp. 239-333.

Priebe H.J. (1976) Estimating settlements in a gravel column consolidated soil. *Die Bautechnik* 53(5): 160-162 (in German).

Smadi, M. (2016). Ground improvement methods using column type techniques. [Available]: https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?params=/context/roadschool/article/3993/&path_info=71.pdf.

Đỗ Minh Toàn, 2009. Báo cáo Đề tài cấp bộ B2009-02-66 "Nghiên cứu đặc tính xây dựng của trầm tích loại sét amQ$^{2}_{2-3}$ phân bố ở đồng bằng Cửu Long phục vụ gia cố đất nền bằng phương pháp làm chặt, có sử dụng các chất kết dính vô cơ". *Lưu trữ Đại học M-ĐC*, Hà Nội.

Đỗ Minh Toàn và Nguyễn Thị Nụ, 2010. Nghiên cứu đặc tính địa chất công trình của đất loại sét yếu thuộc trầm tích holocen trung-thượng phân bố ở đồng bằng cửu long phục vụ xây dựng đường. *Tạp chí địa chất*, http://www.idm.gov.vn/22P35N222PI1T/vi-VN/Chi-Tiet-Tin-Tuc/Nghien-cuu-dac-tinh-dia-chat-cong-trinh-cua-dat-loai-set-yeu-thuoc-tram-tich-Holocen-trung-thuong-phan-bo-o-dong-bang-Cuu-Long-phuc-vu-xay-dung-duong.aspx

Đỗ Minh Toàn, Nguyễn Thị Nụ, 2013. Đặc điểm sức kháng cắt của đất loại sét yếu amQ22-3 phân bố ở các tỉnh ven biển đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí KHKT Mỏ - Địa chất*, số 42/4-2013, tr.36-43.

Viện khoa học công nghệ xây dựng, Bộ Xây dựng (2015). TCCS 66:2015/IBST - Trụ đá dăm đầm rung sâu - Tiêu chuẩn thi công và nghiệm thu.

Research on some design contents and construction technology of a stone column reinforced soil - Application possibility in the highways in the Mekong Delta area

Pham Van Hung[1,*], Tran Phu Thanh[2]
[1]*Hanoi University of Mining and Geology*
[2] *Kien Giang Real Estate Joint Stock Company*
**Corresponding author: Email: phamvanhung@humg.edu.vn*

Abstract

The soil reinforcement by stone columns has been broadly applied in many countries thanks to its simple construction technology, cost reduction due to the use of local materials, and shortened construction time. In Vietnam, although the basic standard TCCS 66:2015/IBST was issued in 2015 to guide the design and construction of vibration-stone columns [10]. However, in reality, the application of the technology is still limited in many aspects. This paper analyzes the overall technology of stone column reinforced soft soil, the sequence, and some design contents. The results show that when designing a soil reinforced by stone columns, it is necessary to simultaneously audit the bearing capacity of soil and columns and the reinforced soil settlement. In addition, the technology of stone column reinforced soil has the potential to be applied to road projects in the Mekong Delta area.

***Keywords**:* stone column; reinforcement; bearing capacity; settlement; Mekong delta.

ĐỀ XUẤT CHIỀU DÀI CỌC BÊ TÔNG CỐT THÉP TIẾT DIỆN NHỎ PHÙ HỢP VỚI CẤP TẢI TRỌNG CỦA NHÀ THẤP TẦNG TRONG ĐIỀU KIỆN ĐỊA CHẤT XÃ TRUNG THÀNH, TỈNH VĨNH LONG

Lâm Ngọc Quí[1,*], Lê Trọng Nhân[2]

[1]Trường Đại học Xây dựng Miền Tây

[2]Phòng Kinh tế, Ủy ban nhân dân Xã Trung Thành, tỉnh Vĩnh Long

**Tác giả liên hệ: Email: lamngocqui@mtu.edu.vn*

Tóm tắt

Ở khu vực Đồng Bằng Sông Cửu Long (ĐBSCL), đặc biệt ở tỉnh Vĩnh Long, các công trình xây dựng thường đặt trên nền sét yếu có bề dày lớn. Các biện pháp phổ biến để gia cố nền đất dưới móng của các công trình vừa và nhỏ thường gặp nhất là sử dụng các loại cọc như: cọc tre, cọc tràm và trong những năm gần đây thường sử dụng cọc bê tông cốt thép (BTCT) tiết diện nhỏ. Nội dung của bài báo sử dụng phương pháp giải tích kết hợp với phần mềm Plaxis 3D để tính toán sức chịu tải cực hạn (SCTCH) của cọc đơn và độ lún của móng cọc bê tông cốt thép tiết diện nhỏ (Tiết diện (0,15 × 0,15) m với các chiều dài khác nhau). Đồng thời, sử dụng kết quả nén tĩnh cọc hiện trường để so sánh, phân tích nhằm đánh giá khả năng ứng dụng cọc BTCT tiết diện nhỏ trong nền đất yếu tại khu vực Xã Trung Thành, tỉnh Vĩnh Long. Kết quả nghiên cứu cho thấy, giá trị sức chịu tải của các cọc có chiều dài khác nhau từ 3 m đến 6 m đều đạt giá trị SCTCH so với kết quả nén tĩnh cọc và độ lún của móng cọc đều thỏa độ lún giới hạn cho phép. Từ đó, đưa ra sự lựa chọn chiều dài cọc phù hợp cho từng cấp tải nhà. Điều này đem lại hiệu quả về kinh tế cho chủ đầu tư và dễ dàng hơn trong quá trình thi công.

***Từ khóa**:* Cọc bê tông cốt thép; sức chịu tải cọc; độ lún; nén tĩnh cọc, Plaxis.

1. Đặt vấn đề

Đặc điểm địa chất Xã Trung Thành nói riêng và tỉnh Vĩnh Long nói chung có nền đất yếu, điển hình có lớp sét yếu dẻo mềm, dẻo chảy bề dày khá lớn. Trước đây, các biện pháp gia cố nền móng cho các công trình dân dụng vừa và nhỏ chủ yếu sử dụng cừ tràm. Đối với phương án móng cừ tràm, sức chịu tải của đất nền sau khi được gia cố chưa có cơ sở lý thuyết tính toán và chưa có tiêu chuẩn cụ thể. Công tác thiết kế móng cừ tràm chủ yếu theo kinh nghiệm (Nguyễn Ngọc Bích, 2013). Do đặc điểm của phương án móng cừ tràm là phải đảm bảo độ sâu đặt móng sao cho trong suốt quá trình sử dụng cừ tràm phải nằm dưới mực nước ngầm để hạn chế không bị mối mọt nên chiều sâu đặt móng khá lớn. Đặc biệt, đối với những khu vực đất nền san lấp bằng cát đã được đầm chặt hoặc những công trình được xây dựng lại trên nền cũ, lớp đất mặt đã được nén chặt hoặc đã được cố kết trước nên có khả năng chịu tải tốt. Nếu sử dụng phương án móng cừ tràm thì phải đào bỏ lớp này đến mực nước ngầm để gia cố cừ tràm, đồng nghĩa với việc đào bỏ lớp đất tốt và gia cường lớp đất yếu. Điều này không hợp lý về mặt kỹ thuật (Nguyễn Ngọc Bích và nnk, 2005). Trong một số trường hợp cần xem xét khả năng giảm chiều sâu chôn móng nhằm tận dụng lớp đất này từ đó giảm khối lượng đào, đắp cũng như vật liệu sử dụng trong quá trình gia cố nền. Thêm vào đó do nguồn cừ tràm ngày càng khan hiếm, nguồn tại địa phương không cao phải nhập từ nơi khác về nên phương án gia cố móng bằng cừ tràm còn tồn tại nhiều hạn chế.

Ngày nay để gia cố nền móng cho các công trình tại địa phương thường sử dụng cọc BTCT tiết diện nhỏ. Cọc BTCT tiết diện nhỏ thường được sử dụng với kích thước (0,15 × 0,15) m, loại cọc này ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong xây dựng công trình thấp tầng ở khu vực có địa chất yếu (Hà Huy Hoàng, 2014).

Mặc dù được sử dụng phổ biến, tuy nhiên chưa có nhiều nghiên cứu được công bố về sức chịu tải cọc và độ lún của móng trên nền cọc này đối với nhà dân dụng có quy mô thấp tầng, khu vực

xây dựng trong đô thị. Các nghiên cứu gần đây thường có xu hướng tập hợp số liệu quan trắc lún và kết quả nén thử tĩnh để đưa ra giá trị trung bình về SCTCH của cọc. Tiêu biểu vào năm 2015, Dự án nghiên cứu khoa học cấp tỉnh tại Vĩnh Long về việc ứng dụng cọc bê tông cốt thép tiết diện nhỏ trong xây dựng các công trình nhà dân dụng từ 1 đến 3 tầng và có tải trọng truyền xuống móng nhỏ hơn 30 Tấn cho thấy SCTCH của cọc có giá trị phổ biến từ 2,625 Tấn đến 3,375 Tấn. Sức chịu tải cho phép của cọc đối với công trình được xây dựng lại trên nền đất cũ có thể lấy bằng 2,0 Tấn, các trường hợp khác lấy 1,5 Tấn (tương đương với hệ số an toàn FS = 1,75) (Đoàn Văn Đẹt và Đinh Hoài Luân, 2015). Hoặc nghiên cứu của (Trần Thanh Liêm, 2018) thông qua mô phỏng bằng Plaxis 3D cho thấy SCTCH của nhóm 4 cọc siêu nhỏ gần sát kết quả thử tĩnh nhóm cọc đơn siêu nhỏ. Hệ số nhóm trường hợp này theo mô phỏng của Plaxis là 0,92. Trong một số trường hợp hệ số nhóm khi cọc nằm trong đất tốt qua thí nghiệm cho thấy lớn hơn 1, khác so với dự đoán tính theo công thức Consverse-Labarre (Bowles. J. E, 1997), tuy nhiên số lượng thí nghiệm nhóm cọc còn ít nên cần có những nghiên cứu sâu hơn, rộng hơn về vấn đề này.

Khi giả định sức chịu tải thiết kế của cọc BTCT tiết diện nhỏ vào thiết kế và thi công xây dựng công trình tại Xã Trung Thành, tỉnh Vĩnh Long cũng như các địa phương lân cận. Xuất hiện một số trường hợp sức chịu tải của cọc không đạt khi tiến hành nén thử tĩnh hoặc độ lún của công trình vượt quá giới hạn cho phép. Do đó, cần tiến hành thu thập thêm kết quả thử tĩnh, tính toán dựa trên tiêu chuẩn và tiến hành mô phỏng với nhiều kích thước cọc khác nhau trên vùng địa chất này. Từ đó tổng hợp số liệu thống kê, so sánh, đưa ra đánh giá khách quan và đáng tin cậy về sức chịu tải cũng như độ lún của móng cọc.

Từ những lý do trên, cho thấy sự cần thiết của nghiên cứu này nhằm phân tích, đánh giá sức chịu tải cọc cực hạn và độ lún của móng cọc BTCT tiết diện nhỏ để đưa ra sự lựa chọn kích thước cọc phù hợp hơn cho công trình dân dụng trên nền địa chất của khu vực này.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

Bài báo sử dụng phương pháp giải tích, mô phỏng bằng phần mềm Plaxis 3D, kết hợp với kết quả thử tĩnh cọc hiện trường để phân tích, so sánh về SCTCH của cọc BTCT tiết diện nhỏ. Bên cạnh đó, độ lún của móng cọc theo các chiều dài cọc khác nhau cũng được tính toán, xem xét trong lớp đất yếu khu vực nghiên cứu.

2.1 Cơ sở tính toán sức chịu tải cực hạn của cọc theo phương pháp giải tích

Sức chịu tải của cọc theo vật liệu làm cọc: $$R_{vl} = \varphi \times (R_b \times A_b + R_s \times A_s) \quad (1)$$

Sức chịu tải của cọc theo chỉ tiêu vật lý: $$R_{c,u} = \gamma_c (\gamma_{cq} q_b A_b + u \sum \gamma_{cf} f_{si} l_i) \quad (2)$$

Sức chịu tải của cọc theo chỉ tiêu cường độ của đất nền:

$$R_{c,u} = q_b A_b + u \sum f_i l_i \quad (3)$$

Sức chịu tải của cọc theo SPT (Công thức của Viện Kiến trúc Nhật Bản):

$$R_{c,u} = q_b A_b + u \sum (f_{c,i} l_{c,i} + f_{s,i} l_{s,i}) \quad (4)$$

2.2 Cơ sở tính toán sức chịu tải của cọc theo kết quả thí nghiệm nén tĩnh cọc hiện trường (TCVN 9393:2012, 2012)

Xác định sức chịu tải giới hạn theo phương pháp đồ thị

Sức chịu tải giới hạn được xác định dựa trên hình dạng đường cong quan hệ tải trọng - chuyển vị S = f(P), logS = f(logP), trong nhiều trường hợp cần kết hợp với các đường cong khác như S = f(logt), P = f(S/logt)... Tùy thuộc vào hình dạng đường cong quan hệ tải trọng - chuyển vị, sức chịu tải giới hạn được xác định theo một trong hai trường hợp sau:

a) Trường hợp đường cong có điểm uốn rõ ràng: sức chịu tải giới hạn được xác định trực tiếp trên đường cong là tải trọng ứng với điểm đường cong bắt đầu thay đổi độ dốc đột ngột hoặc đường cong gần như song song với trục chuyển vị;

b) Trường hợp đường cong thay đổi chậm, rất khó hoặc không thể xác định chính xác điểm uốn: sức chịu tải giới hạn được xác định theo các phương pháp đồ thị khác nhau.

Tùy thuộc vào quy trình gia tải, loại cọc thí nghiệm và điều kiện đất nền, có thể áp dụng một trong các phương pháp đồ thị sau đây để xác định sức chịu tải giới hạn của cọc, trong đó:

a) Phương pháp De Beer, phương pháp Chin, phương pháp 80 % của Brinch Hansen là các phương pháp thích hợp xác định sức chịu tải từ kết quả thí nghiệm theo quy trình gia tải tốc độ chậm;

b) Phương pháp Davission, phương pháp Fuller và Hoy, phương pháp Butler và Hoy là các phương pháp thích hợp xác định sức chịu tải từ kết quả thí nghiệm theo quy trình gia tải tốc độ nhanh;

c) Phương pháp 90 % của Brinch Hansen là phương pháp thích hợp xác định sức chịu tải từ kết quả thí nghiệm theo quy trình gia tải tốc độ với tốc độ chuyển vị không đổi CRP.

Đối với kết quả thí nghiệm nén tĩnh cọc thu thập được trong bài báo này, thì giá trị SCTCH của cọc được xác định bằng lực ép lớn nhất (50 kN), tức là đạt giá trị sức chịu tải bằng $2P_{tk}$ mà cọc vẫn chưa bị phá hoại. Còn đối với kết quả nén tĩnh cọc bằng phần mềm Plaxis 3D thì giá trị SCTCH của cọc được xác định bằng phương pháp chuyển vị giới hạn 10%D với D là cạnh cọc vuông (theo phụ lục E - TCVN 9393:2012).

2.3 Cơ sở tính toán sức chịu tải của cọc theo phương pháp phần tử hữu hạn (phần mềm Plaxis 3D)

Phần mềm Plaxis 3D là một công cụ rất mạnh và tin cậy để xác định, tính toán các vấn đề về địa kỹ thuật. Với khả năng tùy chỉnh rất cao, có thể giải quyết được mọi vấn đề về ứng suất, biến dạng và độ ổn định cho mọi công trình như: hố đào sâu (tầng hầm), móng công trình (móng nông, móng cọc,…), các biện pháp xử lý nền, kè, cảng, đường hầm, đường đắp cao trên đất yếu, đê đập, hầm mỏ, nạo vét… Việc sử dụng phương pháp PTHH, đặc biệt là phần mềm Plaxis 3D giúp mô phỏng chính xác hơn so với các phương pháp tính toán truyền thống, đặc biệt có thể mô phỏng các giai đoạn thi công thực tế, thực hiện các bài toán cố kết và kiểm tra độ ổn định của đất nền. Các loại mô hình vật liệu được xây dựng trong Plaxis3D thuộc phạm vi nghiên cứu của bài báo gồm có mô hình đàn hồi tuyến tính (LE - Linear Elastic Model) và mô hình Mohr - Coulomb (MC - Mohr Coulomb Model).

2.3.1. Mô hình đàn hồi tuyến tính (LE - Linear Elastic Model)

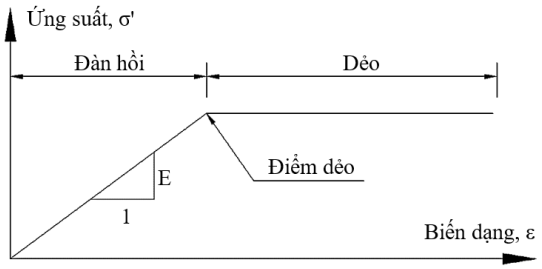
Mô hình đàn hồi tuyến tính dựa trên định luật Hooke đàn hồi đẳng hướng, gồm hai thông số module Young E và hệ số poisson ν. Mặc dù đàn hồi tuyến tính không dùng cho vật liệu đất, nhưng nó có thể dùng để mô hình hóa các thể tích đặc chắc của vật liệu như tường bê tông, đá khối nguyên dạng.

Cần thận trọng khi dùng mô hình này cho vật liệu mà tải trọng tác động lớn hơn sức bền của nó.

Các thông số cơ bản của mô hình đàn hồi tuyến tính: E - module đàn hồi của vật liệu (kN/m²); ν - hệ số poisson; γ_{unsat} - Dung trọng tự nhiên (kN/m³) và γ_{sat} - Dung trọng bão hoà (kN/m³).

2.3.2. Mô hình đàn hồi - dẻo lý tưởng (Mohr-Coulomb Model)

Theo (Bentley Co.,2020) Mô hình Mohr-Coulomb là một mô hình đàn hồi và dẻo hoàn toàn. Tức là xem đất chỉ làm việc trong giai đoạn đàn hồi với quan hệ giữa ứng suất và biến dạng là tuyến tính, quan hệ này tuân theo định luật Hooke. Khi trạng thái đất vượt qua giai đoạn làm việc đàn hồi này thì xem như đất bị phá hoại hoàn toàn, tức là biến dạng phát triển lớn đến vô cùng trong khi ứng suất không tăng.



Hình 1. Quan hệ ứng suất biến dạng trong mô hình đàn - dẻo

Các thông số đầu vào của mô hình Mohr-Coulomb: E - Mô đun đàn hồi của vật liệu (kN/m^2); ν - hệ số poisson; γ_{unsat} - Dung trọng tự nhiên (kN/m^3) và γ_{sat} - Dung trọng bão hoà (kN/m^3); φ - Góc ma sát trong (độ); c - lực dính của đất (kN/m^2) và ψ - Góc dãn nở của vật liệu (độ).

2.4 Phương pháp nghiên cứu

Nội dung nghiên cứu dùng phương pháp kế thừa, tổng hợp số liệu địa chất và các số liệu tải trọng của nhà thấp tầng (từ 1 đến 3 tầng). Sử dụng phương pháp toán học (tính toán giải tích và mô phỏng Plaxis 3D) để tính toán giá trị SCTCH của cọc dài 4 m và 5 m. Kết hợp với kết quả của phương pháp thực nghiệm (thí nghiệm nén tĩnh cọc hiện trường) để so sánh, đánh giá độ tin cậy của phần mềm Plaxis 3D. Từ đó, ứng dụng phần mềm Plaxis 3D để mô phỏng cho các trường hợp SCTCH của cọc đơn (3 m và 6 m) và mô phỏng các trường hợp độ lún của móng cọc ứng với các loại tải công trình thấp tầng được thu thập ở Xã Trung Thành, tỉnh Vĩnh Long.

2.4.1. Xác định các thông số cơ lý của đất

Hồ sơ địa chất của công trình "Trường Tiểu học Trung Thành A, huyện Vũng Liêm" (địa danh hành chính cũ) được Công ty Kiến Trúc Thuận Thành (TNHH) thực hiện khoan khảo sát tại hiện trường. Công tác thí nghiệm do Xí nghiệp Khảo sát và Xây dựng điện trực thuộc Công ty Cổ phần Tư vấn Xây dựng Điện 3 tiến hành tại phòng LAS365. Đặc điểm phân bố, tính chất và chỉ tiêu cơ lý của các lớp đất, cọc được lựa chọn tính toán và mô phỏng trong phần mềm Plaxis được trình bày cụ thể như Bảng 1.

Bảng 1. *Thông số đất nền và cọc*

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Lớp 1: Sét, sét pha trạng thái chảy, dẻo chảy	Lớp 2: Sét pha, trạng thái dẻo cứng	Lớp 3: Sét, trạng thái cứng, nửa cứng	Cọc BTCT
Mô hình vật liệu	Material model	-	MC	MC	MC	Linear Elasic
Loại thoát nước	Drainage type	-	Undrained A	Undrained A	Undrained A	Non-porous
Độ dày lớp đất		m	23	4	>3	
Trọng lượng riêng tự nhiên	γ_{unsat}	kN/m^3	16,65	18,67	18,81	25,00
Trọng lượng thể tích đất bảo hòa	γ_{sat}	kN/m^3	17,01	19,42	19,59	25,00
Mô đun Young	E_{oed}	kN/m^2	1750	7390	8650	2x10^7
Hệ số poisson	ν	-	0,29	0,28	0,29	0,180
Lực dính	C	kN/m^2	13	81,00	77,77	-
Góc ma sát trong	φ	độ	5,517	17,46	16,16	-

Lớp đất số 1: Sét, sét pha màu xám, xám nâu, trạng thái chảy - dẻo chảy. Lớp này có bề dày lớn 23,0 m tại hố khoan HK2. Giá trị SPT = 0 - 3.

Lớp đất số 2: Sét pha cát màu nâu vàng, trạng thái dẻo cứng. Lớp này có bề dày thay đổi 4.0 m tại hố khoan. Giá trị SPT thay đổi 12 - 17.

Lớp đất số 3 : Sét màu nâu xám vàng, xám nâu, trạng thái dẻo cứng, đôi chỗ nửa cứng. Lớp này có bề dày > 3.0m tại hố khoan. Giá trị SPT thay đổi 10 - 25.

Thông số của đài cọc và tấm thép nhằm phục vụ quá trình mô phỏng được nêu trong Bảng 2.

Bảng 2. *Thông số của đài cọc, tấm thép*

Thông số	Kí hiệu	Đơn vị	Đài cọc	Thép tấm
Mô hình vật liệu	Material type	-	Elastic	Elastic
Chiều dày	d	m	0,7	0,02
Trọng lượng riêng của plate	γ	kN/m^3	25	78,5
Mô đun Young	E	kN/m^2	$2,7x10^7$	$21x10^7$
Hệ số poisson	ν	-	0,2	0,3

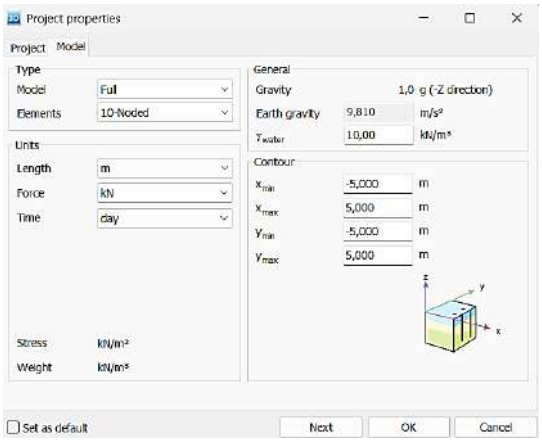
2.4.2. Dữ liệu về tải trọng tính toán

Dựa vào dữ liệu khảo sát được phòng Kinh tế và Hạ tầng - UBND huyện Vũng Liêm (tên trung tâm hành chính cũ) cung cấp. Cho thấy trong khoảng từ năm 2021 đến nay, các công trình nhà ở dân dụng đang ngày càng phát triển hơn về số tầng, phần đông trước đó là nhà trệt (1 tầng) còn hiện nay thì tỷ lệ nhà 2-3 tầng ngày càng tăng. Với giả thiết ban đầu cho đất ở khu vực, sức chịu tải thiết kế của 1 tim cọc L = 5m là 25 kN. Lực ép lớn nhất $P_{ép\ max}$ = 50 kN. Lực ép nhỏ nhất $P_{ép\ min}$ = 37,5 kN. Để có cơ sở xác định số lượng cọc trong móng cho các công trình dân dụng chiều cao 1, 2 và 3 tầng, tác giả tiến hành tính toán sơ bộ tải trọng và số lượng cọc, cũng như là diện tích đáy đài cọc như Bảng 3 (với khoảng cách bố trí cọc s = 3d; với d = 0,15 m, cạnh cọc vuông).

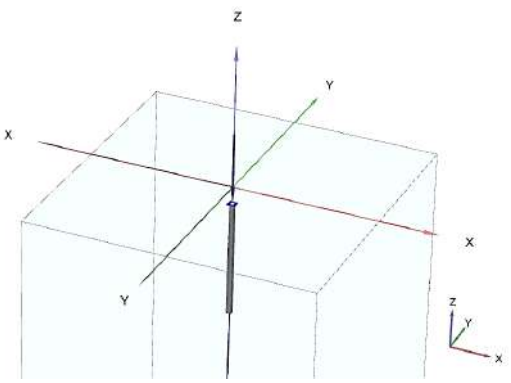
Bảng 3. *Sơ bộ tải trọng, số lượng cọc và diện tích đáy đài*

Đặc trưng	Cấp tải nhà		
	Nhà trệt	2 tầng	3 tầng
Tải trọng (kN)	13	25	37
Sức chịu tải thiết kế (kN)	25	25	25
Số lượng cọc	9	16	24
Diện tích đài (m^2)	1,2 × 1,2	1,65 × 1,65	1,65 × 2,55

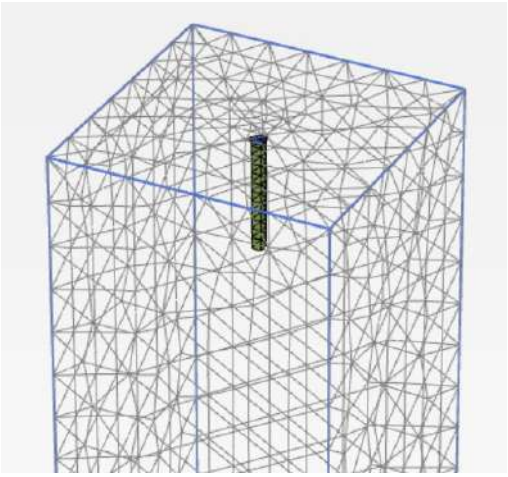
Mô hình cọc, đài và thiết lập các giai đoạn thí nghiệm nén tĩnh cọc trong phần mềm Plaxis 3D theo TCVN 9393:2012 được trình bày như Hình 2.



a) Thiết lập tổng thể bài toán cọc đơn



b) Mô hình cọc bằng phần tử Volume pile



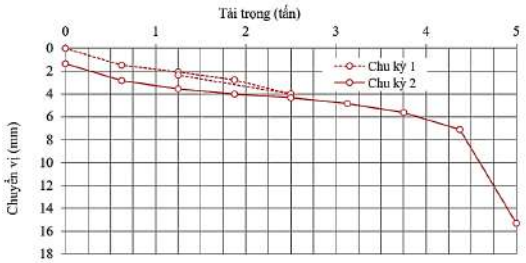
c) Kết quả chia lưới phần tử

d) Thiết lập giai đoạn thí nghiệm nén tĩnh cọc

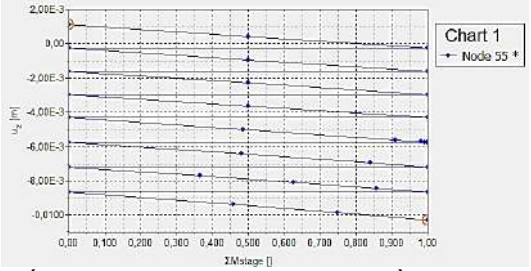
Hình 2. Mô hình cọc, đài và các giai đoạn gia tải nén tĩnh cọc trong Plaxis 3D

3. Kết quả và thảo luận

Sau khi tính toán theo tiêu chuẩn Việt Nam, phần mềm Plaxis 3D và kết hợp với kết quả thí nghiệm nén tĩnh cọc hiện trường, giá trị SCTCH của cọc được tổng hợp như Bảng 4. Kết quả sức chịu tải cọc (0,15 × 0,15) m (chiều dài 4 m và 5 m) từ thí nghiệm nén tĩnh cọc hiện trường và mô phỏng bằng phần mềm Plaxis 3D được thể hiện lần lượt ở Hình 3 và Hình 4.

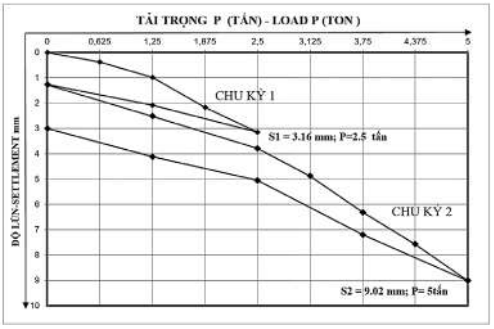


Kết quả thí nghiệm nén tĩnh cọc hiện trường

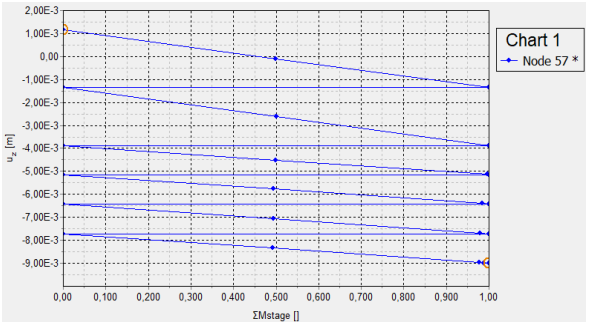


Kết quả mô phỏng nén tĩnh cọc bằng Plaxis 3D

Hình 3. Biểu đồ quan hệ giữa chuyển vị và tải trọng (Cọc (0,15 × 0,15) m, L = 4 m)



Kết quả thí nghiệm nén tĩnh cọc hiện trường



Kết quả mô phỏng nén tĩnh cọc bằng Plaxis 3D

Hình 4. Biểu đồ quan hệ giữa chuyển vị và tải trọng (Cọc (0,15 × 0,15) m, L = 5 m)

Theo Hình 3 và Bảng 4, ta thấy rằng SCTCH của cọc có chiều dài L = 4 m được xác định theo chỉ tiêu cường độ của đất nền có giá trị là 35,91 kN là gần nhất so với kết quả nén tĩnh cọc (P_{gh} = 49,8 kN). Và kết quả mô phỏng nén tĩnh cọc bằng phần mềm Plaxis 3D cho giá trị SCTCH là 50 kN. Đối với cọc có chiều dài L = 5 m, giá trị SCTCH cọc được xác định theo chỉ tiêu cường độ của đất nền cũng là giá trị gần nhất so với kết quả nén tĩnh cọc thực tế và cả kết quả mô phỏng bằng Plaxis 3D (P_{gh} = 50 kN), các kết quả được thể hiện ở Hình 4 và Bảng 5 cho thấy rằng quy luật này tương tự như cọc có chiều dài L = 4m.

Mặc khác, có thể thấy rằng kết quả mô phỏng nén tĩnh cọc (0,15 × 0,15) m với chiều dài L = 4 m và L = 5 m bằng phần mềm Plaxis 3D cho giá trị SCTCH của cọc bằng với phương pháp nén tĩnh cọc hiện trường. Điều này, có thể thấy rằng, việc mô phỏng nén tĩnh cọc bằng Plaxis 3D cho kết quả đáng tin cậy. Vì vậy, tác giả lựa chọn Plaxis 3D để mô phỏng nén tĩnh các cọc 3m và 6m với cùng tiết diện (0,15 × 0,15) m theo quy trình trong TCVN 9393 : 2012 để xác định giá trị SCTCH của các cọc này.

Ngoài ra, tác giả lựa chọn giá trị SCTCH của cọc là 50 kN (theo hồ sơ thiết kế thực tế tại công trình thuộc khu vực nghiên cứu) để áp dụng tính toán và mô phỏng độ lún của móng cọc với các chiều dài cọc khác nhau. Kết quả tính toán được thể hiện như Bảng 5.

Bảng 4. *Giá trị SCTCH của cọc theo các trường hợp xét tính*

Chiều dài cọc (m)	Chỉ tiêu tính toán	SCTCH của cọc (kN)		
		Giải tích	Nén tĩnh	Plaxis
3m	Theo vật liệu	-	50	50
	Theo cơ lý	-		
	Theo cường độ	-		
	Theo SPT	-		
4m	Theo vật liệu	96,9	49,8	50
	Theo cơ lý	27		
	Theo cường độ	35,91		
	Theo SPT	15,21		
5m	Theo vật liệu	94,7	50	50
	Theo cơ lý	31,84		
	Theo cường độ	44,64		
	Theo SPT	19,11		
6m	Theo vật liệu	-	50	50
	Theo cơ lý	-		
	Theo cường độ	-		
	Theo SPT	-		

Bảng 5. *Giá trị SCTCH của cọc theo các trường hợp xét tính*

Cấp tải nhà	Chiều dài cọc (m)	Độ lún (cm)	
		PP giải tích	Plaxis 3D
1 tầng (13 Tấn)	3	3,83	1,517
	4	3,74	1,29
	5	3,64	1,135
	6	3,53	1,017
2 tầng (25 Tấn)	3	5,4	2,403
	4	5,22	2,045
	5	5,12	1,792
	6	5	1,603
3 Tầng (37 Tấn)	3	6,28	2,94
	4	6,19	2,526
	5	6,09	2,229
	6	5,98	1,996

Đối với móng cọc, kết quả tính lún của móng bằng phương pháp giải tích và mô phỏng Plaxis 3D theo cấp tải công trình 1 tầng, 2 tầng và 3 tầng với các chiều dài cọc từ 3 đến 6 m đều cho giá trị độ lún giảm dần khi tăng chiều dài cọc. Kết quả trong Bảng 5 cho thấy rằng, độ lún của móng sử dụng cọc 3 m đều lớn nhất và tăng dần ở các cấp tải trong tất cả các trường hợp. Cụ thể theo phương pháp giải tích với các cấp tải như trên lần lượt là 0,038 m; 0,054 m; 0,063 m và kết quả

mô phỏng bằng Plaxis 3D là 0,015 m; 0,024 m và 0,029 m. Cả hai phương pháp đều cho thấy, đối với cấp tải nhà 3 tầng khi sử dụng cọc có chiều dài 3 m thì độ lún lớn nhất là 0,063 m, thỏa độ lún giới hạn theo tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN 10304:2014, 2014).

Mặc khác, Bảng 5 còn cho thấy rằng, trong tất cả các trường hợp cấp tải và chiều dài cọc khác nhau, độ lún mô phỏng bằng Plaxis 3D đều nhỏ hơn khi được tính bằng giải tích. Điều này hoàn toàn có thể giải thích được là do phần mềm Plaxis sử dụng các thông số và mô phỏng mô hình nền gần với thực tế làm việc của cọc - móng cọc - đất, thể hiện rõ sự tương tác giữa nhóm cọc và đất. Trong khi tính lún bằng phương pháp cộng lún từng lớp xem cả khối móng quy ước như một móng nông trên nền tự nhiên dưới mặt phẳng mũi cọc (tức là bỏ qua phần ma sát giữa nhóm cọc và đất nền xung quanh).

4. Kết luận

Trong quá trình tính toán và thiết kế móng cọc BTCT tiết diện nhỏ cho công trình dân dụng thấp tầng (từ 1 đến 3 tầng) ở khu vực địa chất Xã Trung Thành, tỉnh Vĩnh Long, có thể chọn sơ bộ như sau:

- Sức chịu tải thiết kế của cọc BTCT tiết diện nhỏ (0,15 × 0,15) m là 25 kN (≈ 2,5 Tấn).

- Đối với công trình nhà ở 1 tầng, có thể chọn cọc có tiết diện (0,15 × 0,15) m với chiều dài cọc là 3 m với số lượng cọc cho một móng là 9 cọc được bố trí khoảng cách 3d và có diện tích đài là (1,2 × 1,2) m^2

- Đối với công trình nhà ở từ 2 đến 3 tầng thì có thể lựa chọn sơ bộ cọc có tiết diện (0,15 × 0,15) m với chiều dài cọc là 4 m với số lượng cọc lần lượt theo cấp tải là 16 cọc (diện tích đài (1,65 × 1,65) m^2 và 24 cọc (diện tích đài (1,65 × 2,55) m^2.

Kiến nghị:

- Khi thiết kế móng cọc, trong quá trình tính toán SCTCH của cọc bằng phương pháp giải tích cần tham khảo thêm kết quả mô phỏng nén tĩnh cọc bằng phần mềm Plaxis 3D.

- Trong hầu hết tất cả các hồ sơ nén tĩnh cọc thực tế nói chung và trong nghiên cứu này nói riêng, giá trị SCTCH đều được xác định ở cấp tải $P_{max} = 2P_{tk}$, tức là chưa nén đến khi cọc bị phá hoại. Điều này có thể thấy rằng sức chịu tải cực hạn của cọc có thể có giá trị lớn hơn.

Tài liệu tham khảo

Nguyễn Ngọc Bích, 2013. Các phương pháp cải tạo đất yếu trong xây dựng. *Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.*

Nguyễn Ngọc Bích và nnk, 2005. Đất xây dựng, địa chất công trình và kỹ thuật cải tạo đất trong xây dựng. *Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.*

Bowles. J. E, 1997. Foundation analysis and Design. *New York, MC. Raw. Hill.*

Đoàn Văn Đẹt và Đinh Hoài Luân, 2015. Ứng dụng cọc bê tông cốt thép tiết diện nhỏ trong xây dựng các công trình nhà dân dụng từ 1 đến 3 tầng trên địa bàn Thành phố Vĩnh Long. *Dự án nghiên cứu khoa học cấp tỉnh, Vĩnh Long.*

Hà Huy Hoàng, 2014. Nghiên cứu ứng dụng cọc nhỏ trong xây dựng công trình tại khu vực Hà Nội. Luận văn thạc sĩ kỹ thuật. *Trường Đại học Kiến trúc, Hà Nội.*

Trần Thanh Liêm, 2018. Nghiên cứu khả năng áp dụng cọc bê tông cốt thép đúc sẵn siêu nhỏ trong điều kiện địa chất yếu tỉnh Vĩnh Long. *Luận văn thạc sĩ xây dựng công trình dân dụng và công nghiệp, Trường Đại học Cửu Long.*

Reference Manual, Plaxis 2D CONNECT Edition V20, Bentley Co., 2020.

TCVN 10304 : 2014, 2014. Móng cọc - Tiêu chuẩn thiết kế. *NXB Xây dựng, Hà Nội.*

TCVN 9393 : 2012, 2012. Cọc - phương pháp thử nghiệm hiện trường bằng tải trọng tĩnh ép dọc trục. *NXB Xây dựng, Hà Nội.*

Proposal for the appropriate length of small-section reinforced concrete piles corresponding to the load capacity of low-rise buildings under the geotechnical conditions of Trung Thanh Commune, Vinh Long Province

Lam Ngoc Qui[1,*] , Le Trong Nhan[2]
[1]*Mien Tay Construction University*
[2]*Economic Office, People's Committee of Trung Thanh Commune, Vinh Long Province*
**Corresponding author: Email: lamngocqui@mtu.edu.vn*

Abstract

In the Mekong Delta region of Vietnam, particularly in Vinh Long Province, construction projects are typically founded on thick layers of soft clay. For medium- and small-scale structures, common ground improvement techniques have traditionally involved the use of Bamboo piles and Melaleuca piles, while in recent years, small-section reinforced concrete piles have been increasingly adopted. This study employs an analytical approach in combination with numerical modeling using Plaxis 3D to evaluate the ultimate bearing capacity of single piles and the settlement behavior of pile foundations constructed with small-section reinforced concrete piles (0,15 × 0,15) m of varying lengths. Field static load tests were also performed to provide comparative data for validation and analysis. The results indicate that reinforced concrete piles with lengths ranging from 3 m to 6 m achieve ultimate bearing capacities consistent with static load test outcomes, while the corresponding foundation settlements remain within permissible limits. Based on these findings, appropriate pile lengths can be recommended for different building load classes, thereby offering both economic efficiency for investors and enhanced feasibility during construction.

Keywords: reinforced concrete pile; ultimate bearing capacity; setlement; static load test; Plaxis.

NGHIÊN CỨU SỰ BIẾN ĐỔI MỘT SỐ ĐẶC TRƯNG CƠ LÝ CỦA ĐẤT YẾU KHU VỰC ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG

Vũ Anh Tuấn[1,*], Phạm Thái Bình[1], Nguyễn Đức Mạnh[2], Vũ Bách Tuấn[3,*]

[1]Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

[2]Trường Đại học Giao thông vận tải

[3]Công ty Cổ phần Đầu tư và Tư vấn Thiết kế Số Một

**Tác giả liên hệ: Email: tuanva@utt.edu.vn; bachtuanc1@gmail.com*

Tóm tắt

Khu vực đồng bằng sông Cửu Long (SCL) không chỉ có mặt phổ biến các lớp đất yếu, mà còn có tính đặc thù với bề dày lớn, thành phần vật chất và tính chất xây dựng đa dạng. Theo đó, có khu vực ven biển (như Cà Mau, Kiên Giang), đất yếu có hệ số rỗng và độ ẩm tự nhiên lớn xuất hiện ngay từ mặt đất. Ngược lại, ở khu vực khác như Đồng Tháp, trong đất yếu có khi nhiễm phèn. Ở khu vực Cần Thơ, Hậu Giang, Cà Mau, Sóc Trăng đất yếu ở những khu vực này có hệ số cố kết nhỏ, hệ số nén lún cao, độ ẩm tự nhiên biến thiên mạnh. Nghiên cứu này, trên cơ sở các số liệu thí nghiệm của đất từ các dự án xây dựng đường cao tốc lớn trong vùng, tập trung khảo sát sự biến đổi một số chỉ tiêu cơ lý của đất yếu theo các yếu tố như thành phần hạt, giới hạn Atterberg, độ ẩm, chỉ số nén Cc, và hệ số cố kết Cv. Số liệu thí nghiệm trong nghiên cứu này được thu thập từ gần 1000 mẫu đất tại nhiều vị trí lỗ khoan khảo sát địa chất theo hướng tuyến đường Cần Thơ - Hậu Giang, Cần Thơ - Sóc Trăng, kết hợp với việc phân tích thống kê để đánh giá quy luật và mức độ biến thiên của các chỉ tiêu cơ lý nói trên. Kết quả của nghiên cứu này là cơ sở khoa học để hỗ trợ công tác thiết kế nền đường, và đề xuất các giải pháp xử lý nền đất yếu trong xây dựng đường ô tô tại khu vực đồng bằng sông Cửu Long.

Từ khóa: Đất yếu; đồng bằng sông Cửu Long; chỉ tiêu cơ lý; mức độ biến thiên.

1. Đặt vấn đề

Đất yếu là một loại đất có hàm lượng nước cao, cường độ thấp và biến dạng lớn, như được đề cập đến trong nghiên cứu của (Qiao et al., 2020). Các đặc điểm này khiến đất yếu không phù hợp cho việc xây dựng công trình nếu không có biện pháp xử lý thích hợp. Hiện nay, cùng với sự phát triển nhanh chóng của các khu vực đồng bằng ven biển, thì ngày càng nhiều công trình đường bộ được xây dựng trên đất yếu, tiềm ẩn rủi ro về an toàn công trình. Theo nghiên cứu của (Juliana and binti Bawadi, 2023), đất yếu với khả năng chịu tải kém thường gây ra các hư hỏng nghiêm trọng cho nền đường nếu không có giải pháp gia cố phù hợp. Do đó, việc hiểu rõ các đặc điểm vật lý và cơ học của đất yếu là hết sức cần thiết để đưa ra các phương án xử lý nền đường hợp lý và hiệu quả. Điều này đặc biệt đúng ở các khu vực như Đồng bằng sông Cửu Long, nơi đất yếu phổ biến với các lớp đất yếu có độ dày từ 1 m đến hơn 20 m, phân bố ở khắp các tỉnh ven biển như Cần Thơ, Hậu Giang, Cà Mau, Sóc Trăng…

Đất yếu ở Đồng bằng sông Cửu Long có hệ số cố kết nhỏ, hệ số nén lún cao cùng với thời gian cố kết kéo dài. Điều này sẽ gây ra hiện tượng lún lớn dưới tác dụng của tải trọng trong quá trình xây dựng và khai thác công trình. Việc đánh giá chính xác các đặc trưng cơ lý của đất yếu là cơ sở quan trọng để dự báo biến dạng nền đường và đề xuất các giải pháp gia cố hợp lý, vấn đề này cũng được (Buzatto et al., 2020) nghiên cứu. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra tính không đồng nhất cao của đất yếu ở các khu vực đồng bằng ven biển. Chẳng hạn, các nghiên cứu về đất yếu ở Vistula Marshlands, Ba Lan, đã chỉ ra rằng các chỉ số có độ phân tán lớn (hệ số biến thiên khoảng 50%) (Konkol and Balachowski, 2021), cho thấy tính không đồng nhất cao của đất yếu tại đây. Tương tự, tại Hải Khẩu, Trung Quốc, các hệ số biến thiên của các chỉ số nén lún lớn hơn 30% (Yang et al., 2024).

Nghiên cứu này tập trung khảo sát sự biến đổi một số chỉ tiêu cơ lý của đất yếu theo các yếu tố như thành phần hạt, giới hạn Atterberg (giới hạn chảy (W_L) và giới hạn dẻo (Wp), độ ẩm (W), chỉ số nén (Cc), và hệ số cố kết (Cv). Các số liệu thí nghiệm trong nghiên cứu này được thu thập

từ gần 1000 mẫu đất tại nhiều vị trí lỗ khoan khảo sát địa chất dọc theo trục xây dựng tuyến đường Cần Thơ - Hậu Giang, Cần Thơ - Sóc Trăng. Phân tích thống kê được thực hiện để đánh giá quy luật và mức độ biến thiên của các chỉ tiêu cơ lý này. Kết quả của nghiên cứu này sẽ cung cấp cơ sở khoa học để hỗ trợ công tác thiết kế nền đường và đề xuất các giải pháp xử lý nền đất yếu trong xây dựng đường ô tô tại khu vực Đồng bằng sông Cửu Long.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

2.1 Đặc điểm địa chất khu vực

Đất nền tại đồng bằng sông Cửu Long có mặt phổ biến đất yếu (bùn sét, bùn sét pha, bùn cát pha), phân bố rộng khắp, kéo dài từ phía nam sông Vàm Cỏ Đông đến tận mũi Cà Mau (ngoại trừ các khu vực đồng bằng cao ở phía bắc Đồng Tháp Mười và các vùng núi thuộc Tứ giác Long Xuyên).

Lớp đất yếu này có xu hướng gia tăng bề dày từ Bắc xuống Nam, từ Tây Bắc xuống Đông Nam và ven các sông lớn. Những nơi có bề dày nhỏ nhất (dưới 5 m) thường tập trung ở vùng Bảy Núi, một phần của tứ giác Long Xuyên và phần lớn Đồng Tháp Mười. Riêng ở khu vực phía nam Cà Mau, đặc biệt tại vùng ven biển giữa hai sông Tiền và sông Hậu, bề dày lớp đất yếu có thể vượt quá 20 m.

Việc xây dựng các công trình dân dụng và công nghiệp trên vùng đất yếu gặp nhiều khó khăn, đòi hỏi phải đầu tư đáng kể vào các giải pháp xử lý nền hay móng.

Các số liệu phục vụ việc nghiên cứu này được thu thập trong phạm vi các dự án xây dựng đường cao tốc, đoạn Cần Thơ - Hậu Giang và đoạn Cần Thơ - Sóc Trăng.

2.2 Phương pháp nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, mẫu đất trên các tuyến đường:

- Cao tốc Bắc Nam với điểm đầu Km15+350 giao với tuyến nối đường Nam Sông Hậu - QL1A, thuộc thành phố Cần Thơ. Điểm cuối Km53+000 giao với điểm đầu Dự án thành phần đoạn Hậu Giang - Cà Mau thuộc tỉnh Hậu Giang (cũ). Tổng chiều dài khoảng 37 km. Với số lượng 381 mẫu đất yếu được tổng hợp để phân tích.
- Cao tốc Cần Thơ- Sóc Trăng từ Km131+300 đến Km188+200 (tuyến ngang), có tổng chiều dài khoảng 57 km,với số lượng 569 mẫu đất yếu được tổng hợp để phân tích.

Các mẫu đất sử dụng phân tích được thu thập từ nhiều đơn vị khác nhau, nhưng được thí nghiệm thống nhất theo tiêu chuẩn Việt Nam.

Các chỉ tiêu cơ lý cơ bản của đất yếu được tổng hợp phân tích, bao gồm: Thành phần hạt P (%); độ ẩm tự nhiên W (%); giới hạn chảy W_L (%) và giới hạn dẻo W_P (%); hệ số cố kết Cv (cm^2/s); chỉ số nén Cc.; . Số hóa và lập cơ sở dữ liệu từ các tài liệu thu thập được. Dùng phương pháp phân tích thống kê để xử lý số liệu đầu vào, loại bỏ sai số thô. Áp dụng các công cụ thống kê để đánh giá định lượng sự phân bố và mức độ biến thiên của từng chỉ tiêu, đồng thời nghiên cứu sự liên hệ phụ thuộc giữa các chỉ tiêu này theo chỉ tiêu khác và theo chiều sâu, vị trí. Dùng phương pháp kiểm định giả thuyết thống kê, phân tích phương sai để so sánh định lượng các thông số thống kê giữa hai tuyến đường để làm rõ mức độ khác biệt về địa chất công trình. Cuối cùng, dùng phương pháp phân tích hồi quy và đánh giá thiết kế dựa trên độ tin cậy để phân tích, bình luận về ý nghĩa thực tiễn của kết quả nghiên cứu đối với việc tính toán độ lún, thiết kế bấc thấm cũng như lựa chọn giải pháp xử lý nền.

- Thống kê Mô tả: Tính toán Giá trị trung bình (μ), Độ lệch chuẩn (σ), và Hệ số biến thiên (COV) cho từng chỉ tiêu theo chiều sâu và khu vực. Chỉ số COV là bằng chứng định lượng mạnh mẽ nhất cho tính không đồng nhất của đất yếu.
- Phân tích Tương quan: Sử dụng Hệ số tương quan Pearson (r) để xác định mối quan hệ định lượng giữa các chỉ tiêu. Ví dụ: mối quan hệ giữa độ ẩm (W) và chỉ số nén (Cc) hay giữa giới hạn chảy (WL) và hệ số cố kết (Cv). Nhằm xác định các mối quan hệ thực nghiệm

điển hình (ví dụ: Cc~WL) và kiểm tra tính phù hợp của chúng đối với đất yếu ĐBSCL.

Dùng phương pháp kiểm định t-Test, ANOVA: Đây là phương pháp thích hợp nhất để khẳng định sự khác biệt giữa hai tuyến đường là có ý nghĩa thống kê chứ không chỉ là khác biệt ngẫu nhiên.

Sử dụng hồi quy tuyến tính hoặc phi tuyến để xây dựng các mô hình dự đoán, từ đó xây dựng các công thức thực nghiệm địa phương cho đất yếu ĐBSCL.

3. Kết quả và diễn giải

- Phân đoạn đưa vào nghiên cứu: Đoạn tuyến Cần Thơ - Hậu Giang (Hình 1a), trục cao tốc Bắc Nam; và tuyến Cần Thơ - Sóc Trăng từ (Hình 1b) thuộc tuyến cao tốc ngang trong dự án Châu Đốc- Cần Thơ- Sóc Trăng.

a) Đoạn tuyến Cần Thơ - Hậu Giang thuộc cao tốc Cần Thơ - Cà Mau. (nguồn: vnexpress)

b) Đoạn tuyến Cần Thơ - Sóc Trăng thuộc cao tốc Châu Đốc - Cần Thơ - Sóc Trăng (nguồn: baochinhphu)

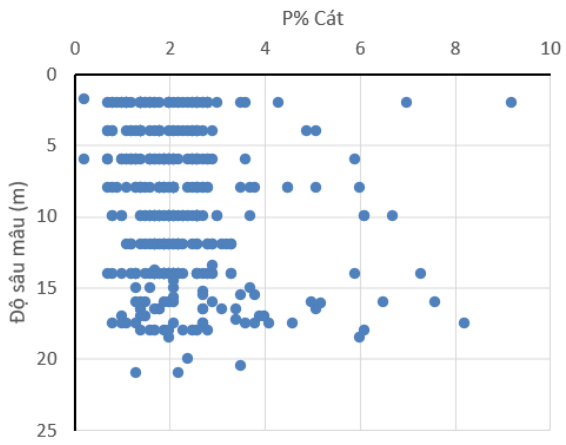
Hình 1. Sơ đồ phạm vi tuyến đường nghiên cứu điển hình

Kết quả phân tích sự biến đổi một số đặc trưng cơ lý của đất yếu khu vực nghiên cứu điển hình bao gồm:

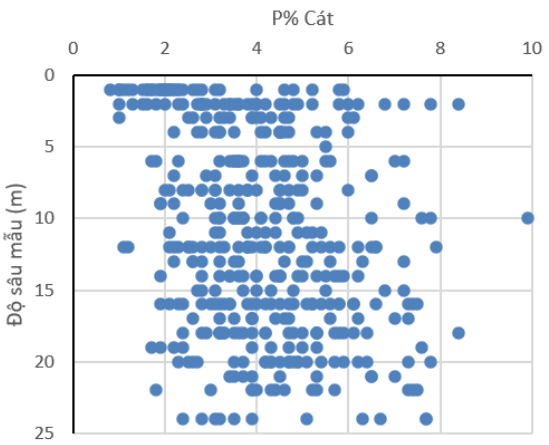
3.1. Thành phần hạt P (%)

Các đoạn tuyến nghiên cứu có 2 lớp đất yếu. Mẫu đất yếu phân bố theo độ sâu khác nhau trong các vị trí lỗ khoan.

Phân tích và thống kê sự biến đổi P%, được thể hiện tại các hình 2a và 2b.



a) Tuyến Cần Thơ - Hậu Giang

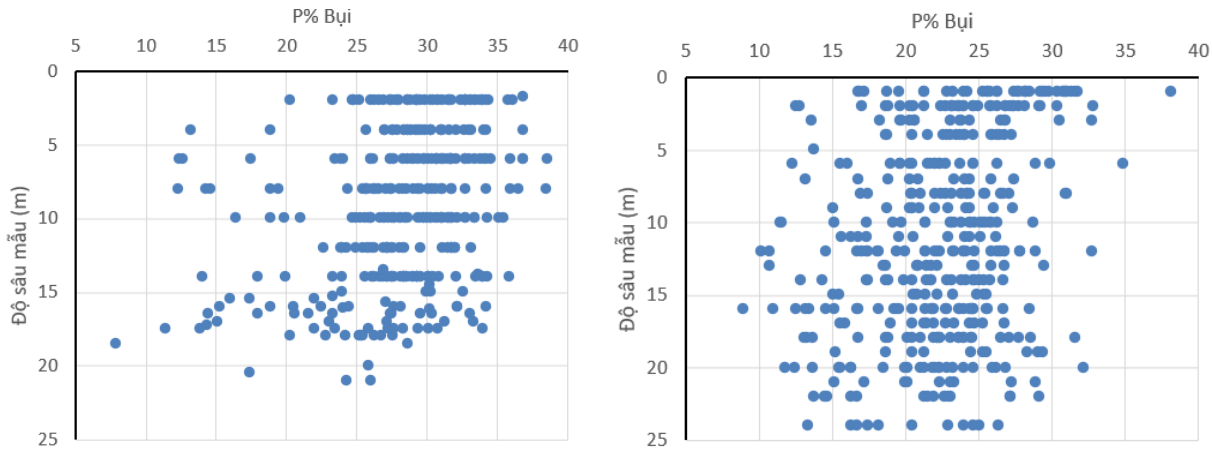


b) Tuyến Cần Thơ - Sóc Trăng

Hình 2. Biểu đồ phân bố tỷ lệ hạt Cát (P%) theo chiều sâu

Đoạn tuyến Cần Thơ - Hậu Giang, hình 2a thể hiện sự biến đổi rõ rệt về thành phần hạt cát tại độ sâu khoảng 12.5m. Lớp đất mặt (Độ sâu từ 0 đến khoảng 12.5 m) có hàm lượng cát thấp và tương đối đồng nhất: Hầu hết các mẫu đất trong khoảng độ sâu này có hàm lượng cát (P% Cát) tập trung chủ yếu ở mức thấp, dao động từ 1% đến 4%. Lớp đất sâu (Độ sâu từ 12.5 m đến 20 m) có hàm lượng cát biến động mạnh và kém đồng nhất hơn: Khi độ sâu vượt quá 12.5m, hàm lượng cát trở nên rất đa dạng. Các điểm dữ liệu phân tán rộng khắp trên biểu đồ, với giá trị (P% Cát) trải dài từ dưới 1% cho đến hơn 8%. Xuất hiện nhiều mẫu có hàm lượng cát cao so với lớp đất gần mặt, ở độ sâu này xuất hiện nhiều mẫu có hàm lượng cát cao hơn đáng kể (từ 4% trở lên). Điều này cho thấy thành phần đất ở các lớp sâu không còn đồng nhất.

Trong khi đó, đoạn tuyến Cần Thơ - Sóc Trăng, hình 2b thể hiện P% Cát có tính biến động ở mọi độ sâu, cho thấy hàm lượng cát trong đất ở đoạn tuyến này phân bố ngẫu nhiên và không đồng nhất (ít biến đổi theo độ sâu). Hàm lượng cát (P% cát) dao động nhiều trong khoảng từ 2% đến 6%, cao hơn P% cát ở đoạn tuyến Cần Thơ - Hậu Giang.



a) Tuyến Cần Thơ - Hậu Giang *b) Tuyến Cần Thơ - Sóc Trăng*

Hình 3. Biểu đồ phân bố tỷ lệ hạt bụi (P%) theo chiều sâu

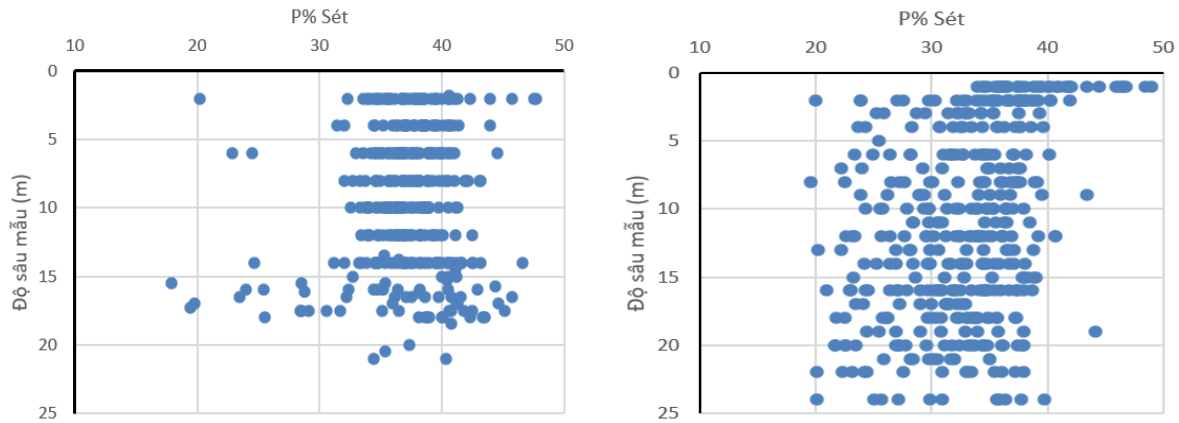
Biểu đồ (hình 3a) đất yếu khu vực Cần Thơ - Hậu Giang hàm lượng hạt bụi tập trung ở vùng nông và trung bình (0-14 m), với tỷ lệ hạt bụi phổ biến dao động trong khoảng 25% đến 35% với nhiều mẫu có giá trị cao trên 30%, cho thấy các lớp đất bề mặt chủ yếu là đất bụi với thành phần mịn. Từ độ sâu 14 m đến 20 m, tỷ lệ hạt bụi có xu hướng phân tán rộng hơn, xuất hiện nhiều giá trị thấp dưới 20%, có tính nén lún thấp hơn, tốc độ cố kết nhanh.

Ngược lại, hình 3b cho thấy đất khu vực Cần Thơ - Sóc Trăng có tỷ lệ hạt bụi phổ biến trong khoảng 15% đến 30%, không thể hiện rõ sự khác biệt theo độ sâu (ngoại trừ lớp trên cùng ở độ sâu 2 mét có hàm lượng hạt bụi cao hơn một chút, dưới 5% so với trung bình).

Từ hai biểu đồ ta nhận thấy đất ở khu vực Cần Thơ - Hậu Giang có xu hướng chứa nhiều hạt bụi hơn một cách rõ rệt, đặc biệt ở lớp trên (<12,5m). Đất yếu ở hướng Cần Thơ - Sóc Trăng thì phân bổ theo chiều sâu đa dạng hơn, mức P% bụi không cao bằng và biến động lớn hơn (mức độ phân tán cao hơn) theo độ sâu.

Về sự biến đổi P% thành phần hạt sét: Từ hai biểu đồ (Hình 4a và 4b) cho thấy, cả hai khu vực đều có giá trị phần trăm hạt sét cao hơn 20%, đặc trưng cho đất dính mềm yếu, có hệ số rỗng lớn, hệ số thấm nhỏ, biến dạng lún nhiều (Cc lớn). Cụ thể biểu đồ hình 4a, đất ở hướng Cần Thơ - Hậu Giang từ mặt đất xuống đến độ sâu khoảng 14 m, hàm lượng hạt sét tương đối cao, với sự phân bố tập trung hơn so với hướng Cần Thơ - Sóc Trăng, phần lớn các giá trị tập trung trong khoảng 33% đến 42%. Đoạn Cần Thơ - Sóc Trăng, đất có hàm lượng sét phân bố trong khoảng rộng, phân tán hơn từ 20% đến 40%, mặc dù tập trung nhiều hơn trong khoảng từ 30% đến 40%. Nhìn chung, các lớp đất ở cả 2 hướng tuyến chủ yếu là đất có thành phần sét. Hàm lượng hạt sét có ảnh hưởng trực tiếp và

mạnh mẽ đến tính nén lún và độ bền. Hạt sét có đặc tính giữ nước mạnh và có cấu trúc rỗng lớn. Khi chịu tải, nước trong các lỗ rỗng sẽ thoát ra từ từ và các hạt sét sắp xếp lại, gây ra biến dạng lớn và lâu ổn định. Hàm lượng sét cao chính là nguyên nhân chính gây ra tính nén lún cao (chỉ số Cc lớn) đã được quan sát ở các lớp đất này và được thể hiện qua chỉ số nén Cc (trong phân tích dưới đây). Đây là một yếu tố quan trọng cần được xem xét kỹ lưỡng trong thiết kế và xử lý nền móng công trình.

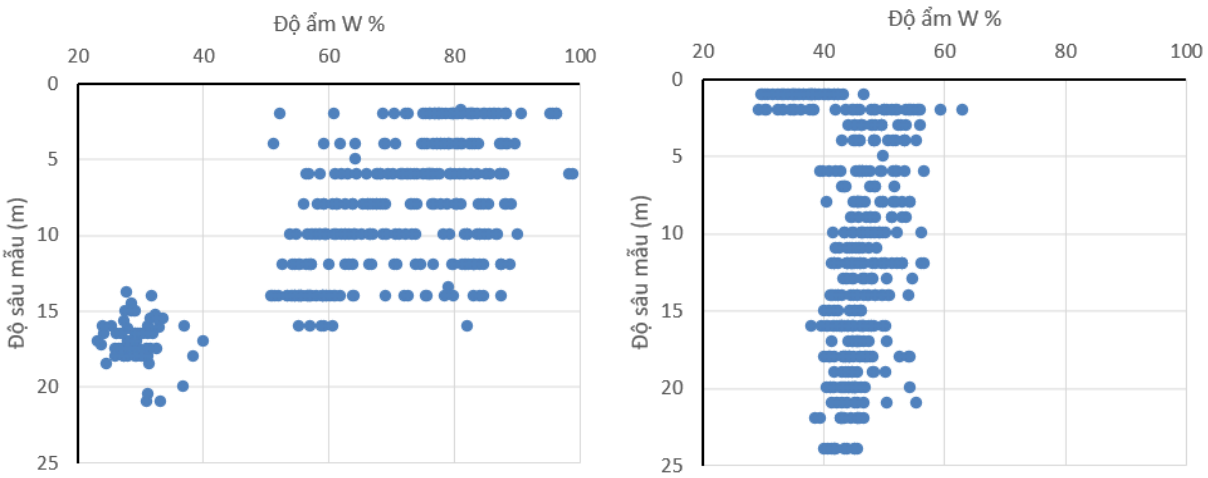


a) Tuyến Cần Thơ - Hậu Giang *b) Tuyến Cần Thơ - Sóc Trăng*

Hình 4. Biểu đồ phân bố tỷ lệ hạt sét (P%) theo chiều sâu

3.2 Sự biến đổi W, W_L, W_P

❖ Sự biến đổi độ ẩm (W) của đất theo độ sâu thể hiện trên các biểu đồ hình 5a và 5b.



a) Tuyến Cần Thơ - Hậu Giang *b) Tuyến Cần Thơ - Sóc Trăng*

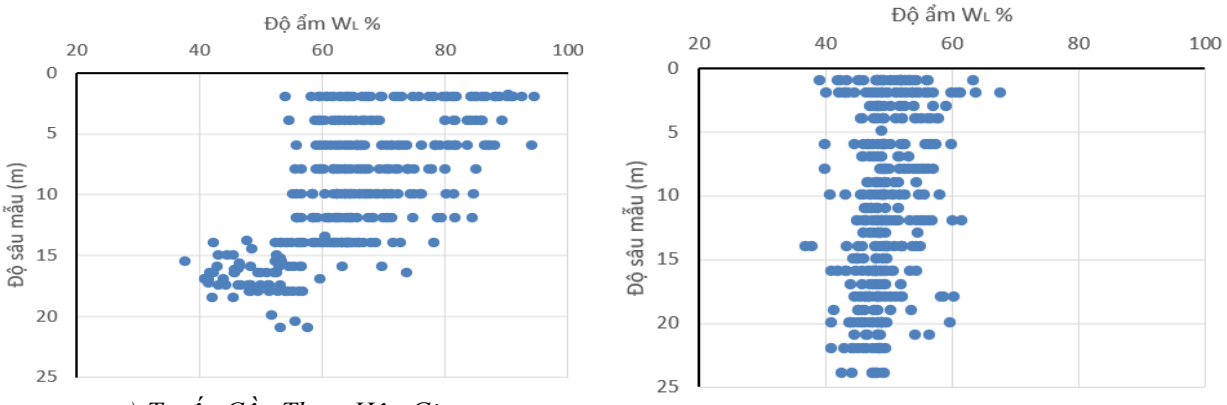
Hình 5. Biểu đồ phân bố độ ẩm (W) theo độ sâu

Theo hướng tuyến Cần Thơ - Hậu Giang (Hình 5a) thể hiện sự biến đổi độ ẩm theo độ sâu, thể hiện khá rõ sự tồn tại của hai lớp đất yếu với các đặc tính giữ nước có phần khác nhau. Từ độ sâu khoảng (1.0 - 14.0) m, độ ẩm cao hơn, phổ biến từ 50% đến 90%. Có những mẫu đất tại độ sâu (5.5-6.0) m độ ẩm lên tới 98.5%, thậm chí độ ẩm là 99.1%. Lớp đất này có khả năng giữ nước cực tốt, độ ẩm tự nhiên rất cao, có liên quan tới hàm lượng hữu cơ, mức độ cố kết và hạt sét. Đặc trưng cho đặc tính " dẻo" và "chảy" của lớp đất, phù hợp với mô tả hiện trường. Trong phạm vi từ mặt đất đến độ sâu 14m, có thể thấy rõ xu hướng độ ẩm giảm dần theo độ sâu, với mức độ giảm nhẹ. Điều này là do đây là lớp đất có độ ẩm gần bão hòa, nhưng càng xuống sâu, do áp lực địa tầng tăng, đất được nén chặt hơn dẫn đến mật độ hạt rắn cao hơn một chút so với bên trên, trong khi mật độ nước không đổi, khiến tỷ lệ khối lượng của nước so với pha rắn giảm đi.

Vẫn trong đoạn tuyến Cần Thơ - Hậu Giang, khi vượt qua độ sâu khoảng 14m, độ ẩm của đất giảm xuống đáng kể và trở nên ít biến động hơn. Các giá trị nằm trong khoảng từ 20% đến 40% trong đó tập trung chủ yếu từ 22% đến 33%, thể hiện đây là một lớp đất khác so với phần trên, có thể cùng là đất loại sét nhưng có trạng thái thiên về cứng hơn. Tại độ sâu (16.8-17.3) m, mẫu đất có độ ẩm là 24%. Độ lệch chuẩn của các mẫu (σ) = 3.17; Hệ số biến đổi (v) = 0.108. Sự phân tầng này cần lưu ý trong các bài toán về tính toán lún trong thiết kế nền móng.

Đối với hướng tuyến Cần Thơ - Sóc Trăng (Hình 5b), độ ẩm thấp và tập trung hơn theo độ sâu, độ ẩm dao động 40% đến 55% (trừ lớp trên cùng ở độ sâu 0-4 m, có độ ẩm thấp hơn đáng kể khoảng 10% so với các lớp bên dưới, vì thế cũng có trạng thái cứng hơn), điều đó phản ánh độ ẩm của đất khu vực này khá đồng nhất, ít biến đổi.

❖ Sự biến đổi độ ẩm giới hạn chảy (W_L) của đất theo độ sâu được thể hiện trên các hình 6a và 6b.



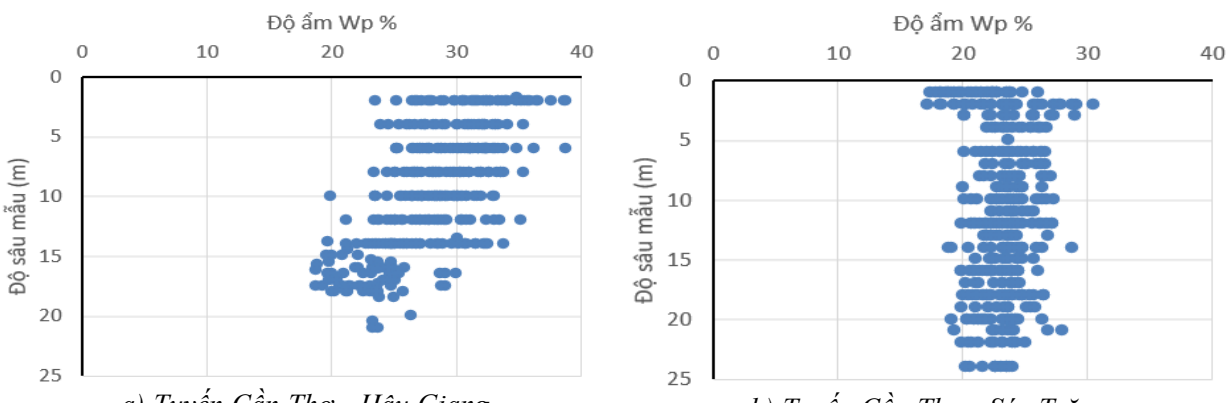
a) Tuyến Cần Thơ - Hậu Giang *b) Tuyến Cần Thơ - Sóc Trăng*

Hình 6. Biểu đồ phân bố độ ẩm giới hạn chảy (W_L) theo độ sâu

Phân bố W_L theo tuyến Cần Thơ - Hậu Giang cũng phù hợp với biểu đồ phân bố độ ẩm tự nhiên, cho thấy sự phân lớp khá rõ ràng của địa tầng ở độ sâu khoảng 14-15 mét. Lớp đất trên (độ sâu đến 14m) có giới hạn chảy cao và biến động trong một khoảng rộng, chủ yếu từ 55% đến hơn 90%. Điều này cho thấy đất có độ dẻo từ cao đến rất cao, mức độ phân tán mạnh. Lớp dưới, ở độ sâu hơn 14 mét, giới hạn chảy giảm một cách rõ rệt và tập trung hơn. Các giá trị ở lớp này chủ yếu nằm trong khoảng từ 40% đến 60%. Độ lệch chuẩn (σ) = 5.71; Hệ số biến đổi (v) = 0.118.

Trong khi đó, hướng tuyến Cần Thơ - Sóc Trăng (Hình 6b), độ ẩm giới hạn chảy thể hiện sự đồng nhất khá cao theo độ sâu, và giá trị W_L dao động trong một phạm vi tương đối hẹp, tập trung trong khoảng từ 40% đến 60%, không có sự phân tách rõ ràng thành các nhóm theo độ sâu.

❖ Sự biến đổi độ ẩm giới hạn chảy (Wp) của đất theo độ sâu thể hiện trên các hình 7a và 7b.



a) Tuyến Cần Thơ - Hậu Giang *b) Tuyến Cần Thơ - Sóc Trăng*

Hình 7. Biểu đồ phân bố độ ẩm giới hạn dẻo (Wp) theo độ sâu

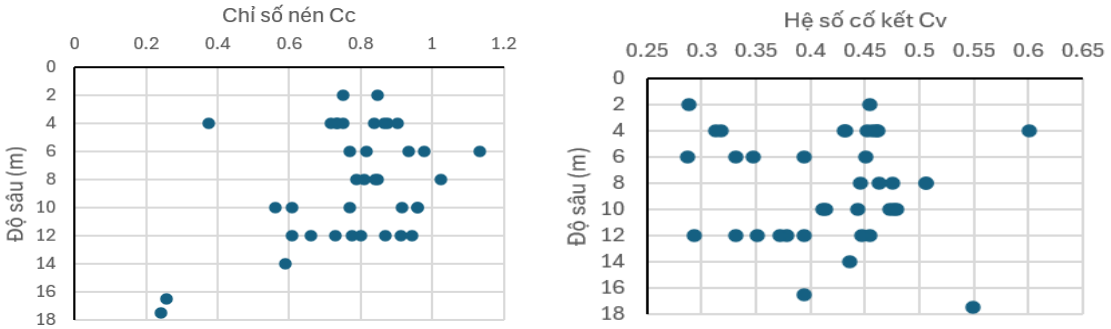
Dựa vào biểu đồ thể hiện chỉ số giới hạn dẻo Wp % của hai đoạn tuyến như trên (hình 7) ta thấy:

- Theo hướng tuyến Cần Thơ - Sóc Trăng (Hình 7b), Wp có tính đồng nhất cao hơn, ít biến đổi. Phạm vi Wp chủ yếu tập trung trong khoảng từ 18% đến 27%. Thể hiện tính dẻo và khả năng biến dạng trung bình. Trừ lớp đất trên cùng ở độ sâu lấy mẫu 2m đến 4m, thể hiện phạm vi biến đổi rộng hơn, từ 16% đến 30%, mặc dù sự khác biệt không quá lớn, nhưng điều này cũng phù hợp với các giá trị thành phần hạt, độ ẩm tự nhiên, giới hạn chảy - thể hiện đây là một lớp đất khác, có ranh giới phân lớp ở độ sâu giữa 4m và 6m.

- Ngược lại, theo hướng tuyến Cần Thơ - Hậu Giang (Hình 7a), trên biểu đồ thể hiện Wp có sự thay đổi rõ rệt theo độ sâu. Từ 0m đến khoảng 14m Wp ở mức cao hơn, khoảng 22% đến 40%. Ở độ sâu lớn hơn 14m giá trị Wp giảm và tập trung hơn, trong khoảng từ từ 18% đến 27%. Kết hợp với giá trị W_L cho thấy lớp dưới có tính dẻo thấp hơn lớp trên.

3.3 Sự biến đổi các chỉ số nén (Cc) và hệ số cố kết (Cv)

3.3.1 Tuyến Cần Thơ - Hậu Giang



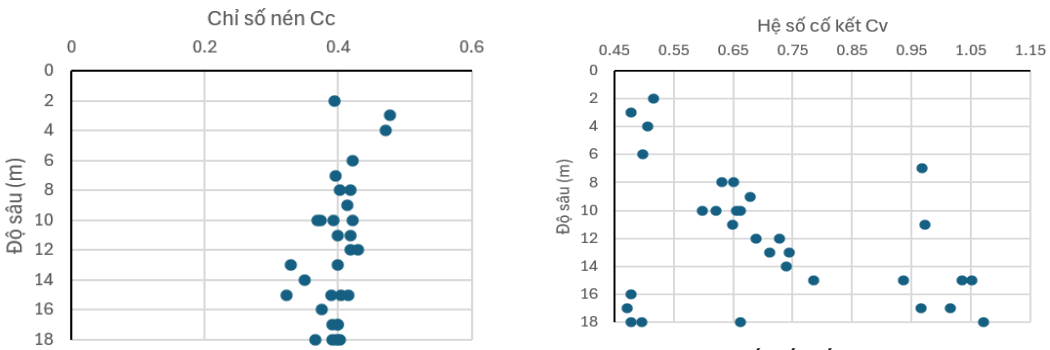
a) Chỉ số nén Cc *b) Hệ số cố kết Cv (cm2/s)x10^{-3}*

Hình 8. Biểu đồ chỉ số nén Cc và hệ số cố kết Cv theo độ sâu

Biểu đồ hình 8a t cho thấy, hướng tuyến Cần Thơ - Hậu Giang có các lớp đất yếu với chỉ số nén Cc rất cao (hay mức độ nén lún mạnh khi Cc>0,5) ở lớp trên, độ sâu từ 0m - 14.0 m. Lớp dưới độ sâu lớn hơn 14 m, mặc dù số lượng mẫu ít hơn đáng kể, nhưng cho giá trị Cc nhỏ hơn rõ rệt, trong khoảng 0,2-0,3, được xếp vào mức độ nén lún khá mạnh.

Ngược lại, biểu đồ hình 8b cho thấy giá trị Cv phân tán trong khoảng rộng, tập trung trong khoảng từ 0,28 đến 0,5 thể hiện tốc độ cố kết chậm (<1), không thể hiện quy luật thay đổi theo chiều sâu một cách rõ nét. Như vậy, đất có chỉ số nén lún lớn nhưng tốc độ cố kết chậm (theo Cv) - chưa cố kết, sẽ làm cho quá trình lún kéo dài sau khi thi công nền đắp trên chúng.

3.3.2 Tuyến Cần Thơ - Sóc Trăng



a) Chỉ số nén Cc b) Hệ số cố kết Cv (cm2/s)x10^{-3}

Hình 9. Biểu đồ chỉ số nén Cc và hệ số cố kết Cv theo độ sâu

Theo hướng tuyến này, chỉ số nén Cc của đất yếu khá cao,chủ yếu nằm trong khoảng từ 0.3 đến 0.5, được xếp vào loại mức độ nén lún mạnh. Đồng thời, hệ số cố kết Cv có phạm vi biến đổi rộng, dao động từ khoảng 0.45 đến > 1.0 và đa số có xu hướng tăng dần theo độ sâu. Mặc dù giá trị Cv ở tuyến này cũng được xếp vào loại có tốc độ cố kết chậm, nhưng nhìn chung có giá trị lớn hơn Cv của đất ở tuyến Cần Thơ - Hậu Giang.

Như vậy, so với hướng tuyến Cần Thơ - Hậu Giang, đất yếu ở khu vực hướng tuyến Cần Thơ - Sóc Trăng có giá trị Cc thấp hơn trong khi Cv lại lớn hơn, nên sẽ có tốc độ lún nhanh hơn đáng kể.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã tiến hành khảo sát sự biến đổi một số đặc trưng cơ lý của đất yếu trên hai hướng tuyến Đông Bắc - Tây Nam (đoạn tuyến cao tốc Cần Thơ - Hậu Giang) và Tây Bắc - Đông Nam (đoạn tuyến cao tốc Cần Thơ - Sóc Trăng), thuộc khu vực trung tâm Đồng bằng sông Cửu Long dựa trên việc phân tích kết quả thí nghiệm gần 1000 mẫu đất yếu được thu thập. Kết quả cho thấy, các chỉ tiêu như độ ẩm (W), giới hạn chảy (W_L), chỉ số nén (Cc), và hệ số cố kết (Cv) có sự phân bố không đồng đều theo chiều sâu và không rõ qui luật theo hướng tuyến. Đất tầng nông (<14 m) thường có độ ẩm và Cc cao, Cv thấp.

Đất yếu ở cả hai hướng tuyến đều có hàm lượng sét cao từ 20% đến hơn 40% và độ ẩm tự nhiên lớn. Đặc biệt là hướng tuyến Cần Thơ - Hậu Giang thể hiện sự phân lớp rõ rệt: Lớp trên (đến 14m) có độ ẩm tự nhiên W rất cao (60% - 90%) , W_L cao (55% - 90%), ảnh hưởng của cấu trúc và giới hạn chảy đến độ nén lún thứ cấp của đất yếu cũng đã được đề cập trong nghiên cứu của (Jiang et al., 2020) và chỉ số nén Cc lớn (0.6 - 1.0), cho thấy đất rất yếu và nén lún lớn. Tốc độ cố kết chậm Cv (0.25 - 0.6) sẽ làm lún kéo dài. Còn hướng tuyến Cần Thơ - Sóc Trăng có sự đồng nhất cao hơn về tính nén lún Cc (0.3 - 0.5) và W (35% - 50%), cho thấy độ lún ổn định hơn. Tuy nhiên, tốc độ cố kết Cv (0.45 - hơn 1.0) không đều, có lớp nhanh, lớp chậm.

Tài liệu tham khảo

Buzatto, L. M., Santos, W., Moreira, J. R., Goncalves, R., Martins, F., Nobrega, M., Bentes, F. & Queiroz, H, 2020. Considerations on Characteristics and Improvements of Soft Soils. *Int. J. Adv. Eng. Res. Sci.IJAERS,* 7**,** pp 342-352.

Konkol, J. & Balachowski, L, 2021. Statistical evaluation of physical and index properties of Vistula Marshlands deltaic soft soils. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 012004.

Qiao, F., Bo, J., Qi, W., Wang, L., Chang, C., Zhang, Z. & Wang, J. 2020. Study on the dynamic characteristics of soft soil. *RSC advances,* 10**,** pp 4630-4639.

Jiang, N., Wang, C., Wu, Q. & Li, S. 2020. Influence of structure and liquid limit on the secondary compressibility of soft soils. *Journal of Marine Science and Engineering,* 8**,** pp 627-651.

Juliana, N. & Binti Bawadi, N. F, 2023. Effects of Physical and Mechanical Properties of Soft Soil on Subgrades Performances in Lubuk Bayas Village, Serdang Bedagai Regency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* IOP Publishing, 012017.

Yang, Y., Song, X., Zhang, S., Hu, J., Ruan, M., Zeng, D., Luo, H., Wang, J. & Wang, Z. 2024. Correlation analysis and prediction of the physical and mechanical properties of coastal soft soil in the jiangdong new district, haikou, china. *Advances in Civil Engineering,* 2024**,** 9985210.

Study on the variation of geotechnical properties of soft soils In the mekong delta region

Vu Anh Tuan[1], Pham Thai Binh[1], Nguyen Duc Manh[2], Vu Bach Tuan[3,*]

[1]*University of Transport Technology*

[2]*University of Transport and Communications*

[3]*No.1 Design and Consulting Investment Joint Stock Company*

**Corresponding authors: Email: tuanva@utt.edu.vn; bachtuanc1@gmail.com*

Abstract

The Mekong Delta region is characterized not only by the widespread presence of soft soils but also by their distinctive features, such as large thickness, variable composition, and diverse engineering properties. In coastal areas (e.g., Ca Mau, Kien Giang), soft soils with high natural water content and large void ratios often occur right at the surface. In contrast, in other regions such as Dong Thap, the weak soils are sometimes affected by acidity. In Can Tho, Hau Giang, Ca Mau, and Soc Trang, the soft soils generally have low consolidation coefficients, high compressibility, and strongly varying natural moisture contents.

Based on experimental data from major highway construction projects in the region, this study investigates the variation of several geotechnical parameters of weak soils, including particle size distribution, Atterberg limits, moisture content, compression index (Cc), and consolidation coefficient (Cv). Approximately 1,000 soil samples were collected from various boreholes along the Can Tho–Hau Giang and Can Tho–Soc Trang expressway routes. Statistical analyses were conducted to evaluate the patterns and degrees of variation of these parameters.

The results of this study provide a scientific basis for roadbed design and the development of appropriate ground improvement solutions for highway construction in the Mekong Delta region.

Keywords: Soft soil; Mekong Delta; geotechnical properties; variability.

BIẾN DẠNG NỀN ĐƯỜNG GIA CỐ BẰNG CỌC XI MĂNG – ĐẤT CHỊU HOẠT TẢI THEO TIÊU CHUẨN TRONG ĐIỀU KIỆN ĐỊA CHẤT ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG

Phạm Hữu Hà Giang[1,*], Đặng Tấn Đảm[1], Nguyễn Trường Phát[1], Phạm Minh Triết[1]

[1]Đại học Cần Thơ

**Tác giả liên hệ: Email: phhgiang@ctu.edu.vn*

Tóm tắt

Nghiên cứu này tập trung vào việc phân tích biến dạng của hệ cọc xi măng đất (CXMĐ) trong điều kiện nền đất yếu thuộc khu vực Đồng bằng sông Cửu Long khi chịu tác động của hoạt tải thiết kế theo TCVN 11823-2017. Phương pháp giải tích và mô phỏng số bằng phần tử hữu hạn (Plaxis 2D) được sử dụng trong nghiên cứu này. Kết quả chỉ ra rằng độ gồ ghề của mặt đường và đặc tính cơ lý của lớp đất đắp có ảnh hưởng lớn đến chuyển vị và biến dạng của hệ CXMĐ. Nghiên cứu góp phần bổ sung cơ sở khoa học trong thiết kế và thi công nền đường có xử lý bằng cọc xi măng đất, đồng thời đề xuất những kiến nghị nhằm cải thiện hiệu quả của công trình giao thông.

***Từ khóa**:* cọc xi măng đất; đất yếu; biến dạng nền đường.

1. Đặt vấn đề

Hạ tầng giao thông đóng vai trò nền tảng trong việc thúc đẩy phát triển kinh tế, nâng cao chất lượng sống và đảm bảo kết nối vùng miền. Trong những năm gần đây, khu vực Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) chứng kiến hàng loạt dự án giao thông quy mô lớn, đặc biệt là các tuyến cao tốc Bắc – Nam. Tuy nhiên, một trong những thách thức đặc thù lớn nhất của vùng này là điều kiện địa chất – nền đất yếu hình thành từ quá trình tích tụ trầm tích kéo dài hàng nghìn năm, với lớp đất yếu có thể dày trên 50m và cấu tạo không đồng nhất theo cả phương ngang lẫn phương đứng (Châu Ngọc Ẩn và nnk., 2005).

Việc xây dựng công trình giao thông trên nền đất yếu dẫn đến nguy cơ lún lệch, ảnh hưởng đến độ bền của kết cấu áo đường. Đáng chú ý là khu vực tiếp giáp giữa cầu và đường dẫn thường xảy ra chênh lệch lún nghiêm trọng, gây mất an toàn giao thông, giảm hiệu quả khai thác, và thậm chí làm suy yếu hệ cọc móng hoặc mất ổn định mố cầu do phát sinh chuyển vị ngang (Nguyễn Tấn Nguyên, 2018). Nguyên nhân sâu xa là do hệ móng cọc cầu được thiết kế lún rất nhỏ (TCVN 11823-2017), trong khi nền đường lại đặt trực tiếp lên đất yếu, chịu ảnh hưởng lớn của lún cố kết. Dù đã có các tiêu chuẩn liên quan (TCVN 4054:2005, 22TCN262:2000, TCVN 9355:2012, ...), song việc dựa đơn thuần vào số liệu quan trắc và lún dự báo có thể dẫn đến tình trạng đường tiếp tục lún sau khi đưa vào khai thác (Hai, T. M. và nnk., 2021).

Trước yêu cầu cấp thiết đó, xử lý nền trở thành công tác đặc biệt quan trọng. Trong các giải pháp xử lý như bấc thấm, cọc cát, đệm cát,... thì CXMĐ nổi lên như một lựa chọn hiệu quả và phù hợp với đặc điểm nền đất yếu của ĐBSCL (Giang, P. H. H. và nnk., 2024; Dang, C. C. và nnk., 2021). Phương pháp này không chỉ có thời gian thi công nhanh, ít ảnh hưởng môi trường mà còn không phá vỡ kết cấu hiện hữu và áp dụng được cho nhiều loại đất ở độ sâu khác nhau. Tại nút IC3 – TP. Cần Thơ, khi so sánh giữa CXMĐ và giếng cát thì cả hai đều đảm bảo yêu cầu kỹ thuật, nhưng cọc XMĐ lại vượt trội về mặt kinh tế và tiến độ, do không cần thời gian chờ cố kết (Nguyễn Tấn Nguyên, 2018).

Đặc biệt, phương pháp bố trí CXMĐ với chiều dài tăng dần về phía mố cầu giúp cải thiện mô-đun đàn hồi, giảm độ dốc chênh lệch giữa cầu và đường, đồng thời nâng cao độ ổn định mái dốc. Bên cạnh đó, các tiêu chuẩn hiện hành như TCVN 9403:2012, TCVN 9906:2014 mới chỉ tập trung vào vấn đề thi công và vật liệu, mà chưa đề cập đầy đủ đến ứng xử cơ học như trạng thái ứng suất, biến dạng hay chuyển vị sau khi gia cố (Yen, N. T. N. và Viet, T. T., 2020).

Chất lượng và hiệu quả của phương pháp CXMĐ không chỉ phụ thuộc vào tỷ lệ phối trộn

xi măng, mà còn bị chi phối bởi các yếu tố hình học như chiều dài, khoảng cách giữa các cọc, tương tác giữa cọc và đất yếu xung quanh (Giang, P. H. H. và nnk., 2022). Singh, A. K., & Mishra, A. (2023) cho rằng ứng suất trên cọc có thể cao gấp 5 lần so với đất nền và khi kết hợp thêm sàn chuyển tải (load transfer platform), chuyển vị ngang được giảm rõ rệt – mặc dù độ lún dọc có thể tăng.

Các nghiên cứu cũng chỉ ra rằng sự thiếu kháng lực ngang của hệ cọc dễ dẫn đến phá hoại, nhất là trong điều kiện tải trọng lớn hoặc đất đắp yếu. Ví dụ điển hình là sự cố phá hoại nền đường ở Saga, Nhật Bản, nơi chuyển vị ngang do cố kết và tải trọng đất đắp đã dẫn đến trượt cọc (Chai J.C. và nnk., 2019). Ngoài ra, cường độ của lớp đất đắp cũng ảnh hưởng mạnh đến biến dạng ngang của hệ cọc – đất đắp yếu dễ gây chuyển vị ngang >0,2m, trong khi đất đắp có lực dính cao chỉ chuyển vị 0,05m và vẫn giữ ổn định sau động đất.

Mặt khác, theo TCCS41:2022/TCĐBVN, tải trọng thiết kế hiện tại cho nền đường đắp trên đất yếu chỉ mới tính đến tải trọng tĩnh – chưa đề cập đến tác động động lực. Trong khi đó, các yếu tố như độ gồ ghề mặt đường (IRI) và vận tốc xe có ảnh hưởng đáng kể đến hệ số xung kích (IF) và hệ số tải trọng động (dynamic load coefficient - DLC) (Quan, H. V. và nnk., 2023). Khi IRI hoặc tốc độ tăng, tải trọng động cũng tăng theo, gây tác động lớn đến chuyển vị của nền.

Từ những phân tích trên, có thể thấy rằng việc đánh giá ứng xử chuyển vị của hệ cọc xi măng đất trong điều kiện đất yếu vùng ĐBSCL dưới tác động của hoạt tải thiết kế là vấn đề cấp thiết, có ý nghĩa thực tiễn và học thuật cao, đặc biệt trong bối cảnh hạ tầng khu vực đang phát triển mạnh mẽ. Nghiên cứu này sẽ đánh giá ảnh hưởng của hoạt tải thiết kế đến sự biến dạng và chuyển vị của hệ CXMĐ trong xử lý nền đất yếu, với mục tiêu làm rõ các yếu tố tác động đến hiệu quả gia cố của CXMĐ thông qua phân tích lý thuyết và mô phỏng số. Đối tượng nghiên cứu là hệ CXMĐ trong điều kiện chịu tải trọng thiết kế theo TCVN 11823:2017. Phạm vi nghiên cứu tập trung vào các điều kiện địa chất đặc trưng tại khu vực ĐBSCL, đặc biệt là các tuyến đường xây dựng trên nền đất yếu có ứng dụng giải pháp CXMĐ.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

2.1 Cơ sở lý thuyết

CXMĐ là một giải pháp xử lý nền đất yếu được ứng dụng rộng rãi trong xây dựng nhờ khả năng gia cố nền móng, ổn định mái dốc, chống thấm và nâng cao sức chịu tải của nền đất. Nguyên lý cơ bản là trộn xi măng với đất tại chỗ, hình thành các cột trụ có cường độ cao giúp cải thiện đáng kể tính chất cơ học của đất yếu, đặc biệt trong điều kiện ngập nước hoặc mặt bằng chật hẹp. Hai công nghệ thi công phổ biến nhất hiện nay là trộn khô (Dry Jet Mixing) và trộn ướt (Wet Mixing/Jet Grouting), với phạm vi ứng dụng phù hợp cho từng loại đất. Nhờ hiệu quả kỹ thuật và kinh tế, CXMĐ đã trở thành một trong những giải pháp xử lý nền quan trọng ở Việt Nam.

Phương pháp tính toán CXMĐ có nhiều quan điểm tính toán, bao gồm: phương pháp CXMĐ làm việc như cọc; phương pháp nền tương đương; phương pháp phần tử hữu hạn. Cụ thể:

- Phương pháp CXMĐ làm việc như cọc sẽ đánh giá ổn định CXMĐ theo hai trạng thái giới hạn 01 và 02;

- Phương pháp nền tương đương: nền cọc và đất dưới đáy móng được xem như đồng nhất với các tham số cường độ (φ_{td}, c_{td}, E_{td}) để kiểm tra hai tiêu chuẩn về cường độ và biến dạng của CXMĐ.

- Phương pháp phần tử hữu hạn áp dụng mô hình đàn hồi tuyến tính dẻo hoàn toàn Mohr Coulomb với 05 tham số đầu vào (E, υ – mô hình đàn hồi; c, φ – mô hình dẻo; và ψ – mô hình giãn nở). Mô hình này được dùng để phân tích tính toán sơ bộ, mỗi lớp đất được ước lượng độ cứng trung bình, độ cưng tăng dần theo chiều sâu.

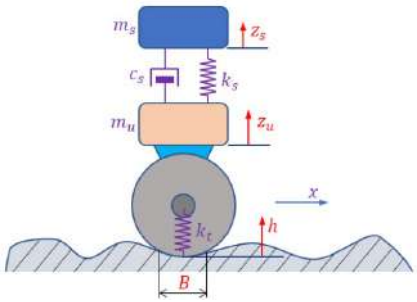
Bên cạnh đó, trong tính toán thiết kế, việc xét đến tác động của tải trọng động là rất cần thiết vì tải trọng này thay đổi theo thời gian về trị số, phương, vị trí và gây ra ứng suất, chuyển vị cũng thay đổi theo thời gian trong hệ nền móng. Quan, H. V. và nnk. (2023) đã khảo sát mô hình một

phần tư xe (Quarter Car Model - QCM) với hai bậc tự do theo tiêu chuẩn ISO 8608 (Hình 1) và thành lập hệ phương trình vi phân như sau:

$$m_s\ddot{z}_s = -c_s((\dot{z}_s - \dot{z}_u) - k_s(z_s - z_u) \quad (1)$$

$$m_u\ddot{z}_u = c_s(\dot{z}_s - \dot{z}_u) + k_s(z_s - z_u) - k_t(z_u - h) \quad (2)$$

trong đó: m_s – khối lượng hệ treo (khung xe, hàng hóa) (kG), m_u – khối lượng bánh xe (gồm trục xe) (kG); k_s – độ cứng lò xo của hệ treo (N/m), k_t: độ cứng bánh xe (N/m); c_s: hệ số cản (Ns/m); $\ddot{z}_s$, $\dot{z}_s$, z_s*(mm)*: gia tốc, vận tốc, và chuyển vị hệ treo; $\ddot{z}_u$, $\dot{z}_u$, z_u(mm): gia tốc, vận tốc, và chuyển vị hệ trục bánh xe; h: hàm biểu thị độ mấp mô mặt đường (road surface roughness – RSR) theo phương ngang x (mm).



Hình 1. Mô hình QCM chịu kích động của mấp mô mặt đường (Quan, H. V. và nnk., 2023)

Theo Agostinacchio (2014), mô tả RSR, hàm biểu thị độ mấp mô mặt đường có thể biểu diễn bằng hàm điều hòa giản đơn như sau h(x):

$$h(x) = \sum_{i=1}^{N} \sqrt{3{,}26 \cdot K_0 \cdot \Delta n} \cdot \frac{n_0}{n_i} \cdot IRI \cos(2\pi \cdot i \cdot \Delta n \cdot x + \varphi_i) \quad \text{(mm)} \quad (3)$$

Trong đó: $N = \frac{L}{B}$, L (m): chiều dài đoạn đường khảo sát, B (m): bề rộng tiếp xúc của bánh xe.

i: số nguyên dương thay đổi trong phạm vi từ 1 đến N;

K_0: ($K_0 = 10^{-6}$) (m^3);

Δn: độ lớn khoảng tần số không gian rời rạc ($\Delta n = \frac{1}{L}$);

n_i: tần số không rời rạc ($n_i = i \,.\, \Delta n$);

IRI: độ lớn từ 0 đến 20, mặt đường càng kém phẳng IRI càng lớn;

x: biến hoành độ, ($x = V.t$; $x = [0, L]$) (m);

ω_i: góc pha ngẫu nhiên, tuân theo quy luật phân phối đều ($\omega_i = [0, 2\pi]$).

2.2 Phương pháp nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, phương pháp tính toán giải tích dựa trên tính toán nền tương đương được áp dụng để phân tích chuyển vị của hệ cọc tại khu vực Ô Môn, thành phố Cần Thơ. Bảng tổng hợp tính chất cơ lý đất được trình bày ở Bảng 1. Nền đất yếu sau khi được xử lý bằng cọc xi măng - đất được xem như một nền tương đương, nơi cọc và đất cùng làm việc để chịu tải trọng. Sự phân bố tải trọng giữa cọc và đất được xác định dựa trên độ cứng tương đối của chúng. Các mô hình như lý thuyết đàn hồi và nền tương đương được sử dụng để tính toán độ lún và sức chịu tải của nền. Phương pháp này phù hợp với các khu vực rộng lớn, nơi tải trọng phân bố đồng đều.

Bảng 1. *Tổng hợp CTCL đất tại hố khoan 07*
(Công ty TNHH Kiểm định - Tư vấn ĐTXD Nam Mekong, 2014)

STT	Loại đất	Độ ẩm	Dung trọng		Hệ số rỗng	Độ sệt	Lực dính tính toán	Góc ma sát trong	Cao trình lớp đất		Bề dày lớp đất
			Ướt	Đẩy nổi							
		ω	γw	$\gamma_{đn}$	e	I_L	C_{tt}	ϕ	Từ	Đến	
		%	KN/m³	KN/m³			KPa	Độ	m	m	m
1	CH	67.14	15.43	5.79	1.903	1.31	2.94	2.30	0.0	-9.25	9.25
2	CL1	43.15	17.35	7.60	1.213	1.46	4.37	20.26	-9.25	-13.34	4.09
3	CL2	24.95	19.89	9.99	0.686	0.15	20.95	22.30	-13.34	-20.5	7.20
4	SC1	29.41	18.96	9.20	0.833	0.37	15.97	21.63	-20.5	-28.5	8.00
5	CL3	30.83	18.97	9.09	0.849	0.67	8.50	23.82	-28.5	-40.0	11.5

Thêm vào đó, phương pháp phần tử hữu hạn (Plaxis 2D) cũng được sử dụng trong nghiên cứu này để mô phỏng phương tiện giao thông lưu hành trên đường với các điều kiện chất lượng mặt đường khác nhau về chỉ số IRI (2, 4, 6, 8) (Bảng 2) cùng với điều kiện lớp đất đắp (Bảng 2) trên hệ cọc khác nhau về loại đất (sét, cát, sét pha cát).

Bảng 2. *Tổng hợp CTCL đất đắp (Công ty TNHH Kiểm định - Tư vấn ĐTXD Nam Mekong)*

STT	Loại đất	Dung trọng		Hệ số rỗng	Lực dính tính toán	Góc ma sát trong	Bề dày lớp đất
		Ướt	Đẩy nổi				
		γ_u	$\gamma_{đn}$	e	C_{tt}	ϕ	hi
		KN/m³	KN/m³		KPa	Độ	m
1	Đất sét	18	8	1.48	40.14	14.28	5
2	Đất sét pha cát	18	8	0.64	16.36	18.93	5
3	Đất cát	18	8	0.32	8.38	38.12	5

3. Kết quả và thảo luận

3.1 Phân tích chuyển vị đối với tải trọng tĩnh

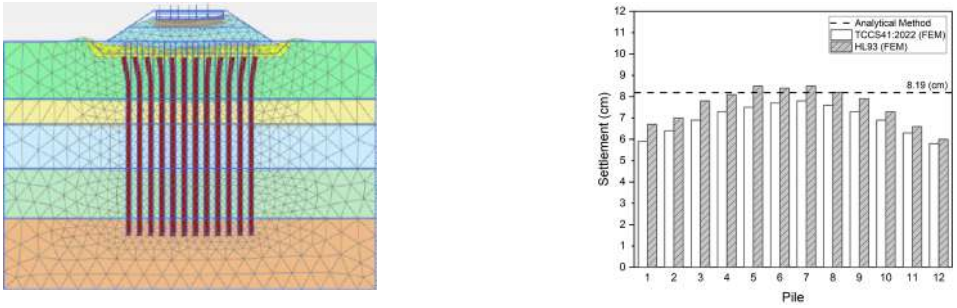
Độ lún nền đường được phân tích trong Bảng 3 cho thấy, nền đường sau khi gia cố bằng hệ cọc xi măng đất đã cải thiện độ lún rõ rệch. Hệ cọc xi măng đất đã làm giảm độ lún nền tự nhiên từ 62.93 cm về mức 8.50 cm, giảm 86,5% so với độ lún ban đầu. Điều này chứng minh rằng, cọc xi măng đất là một phương pháp gia cố đường hiệu quả, giúp giảm chuyển vị nền đường đáng kể, tăng độ êm thuận cho phương tiện giao thông di chuyển an toàn. Ngoài ra, độ chênh lệch của hai phương pháp giải tích và FEM là tương đối nhỏ, 3.64% (<10%). Vì thế, phương pháp giải tích vẫn có thể được sử dụng hiệu quả trong thiết kế.

Bảng 3. *Tổng hợp kết quả phân tích*

Phương pháp tính toán	Chuyển vị nền tự nhiên (cm)	Chuyển vị nền được gia cố (cm)
Giải tích	62.93	8.19
Mô hình	Sụp đổ	8.50
Chênh lệch	-	3.64%

Ngoài ra, Hình 2 minh họa sự biến dạng (chuyển vị) theo phương đứng của hệ cọc xi măng đất dưới tác động của các tải trọng tĩnh, bao gồm tải trọng HL93 theo TCVN 11823:2017 và tải trọng theo tiêu chuẩn TCCS41:2022/TCĐBVN bằng phương pháp giải tích và mô hình phần tử hữu hạn – FEM. Kết quả phân tích từ mô hình cho thấy tải trọng thiết kế HL93 chuyển vị lớn hơn 9.3% tải trọng thiết kế theo TCCS41:2022/TCĐBVN. Điều này là do, theo TCCS41:2022/TCĐBVN , tải trọng thiết kế được quy đổi thành lớp đất đắp có tải trọng tương đương tác dụng lên công trình, do đó tải trọng thiết kế là tải trọng phân bố. Trái lại, với tải trọng HL93 theo TCVN 11823:2017, tải trọng được quy thành tải trọng tập trung đặt lên công trình. Vì vậy, tạo ra ứng suất lớn tại một điểm, dẫn đến phân bố ứng suất không đồng đều trong nền đất,

làm tăng hiệu ứng vòm, từ đó làm tăng độ lún tổng thể và chuyển vị theo phương ngang. Sự chênh lệch giữa hai tiêu chuẩn phản ánh vai trò quan trọng của tải trọng thiết kế đến quy trình thiết kế.

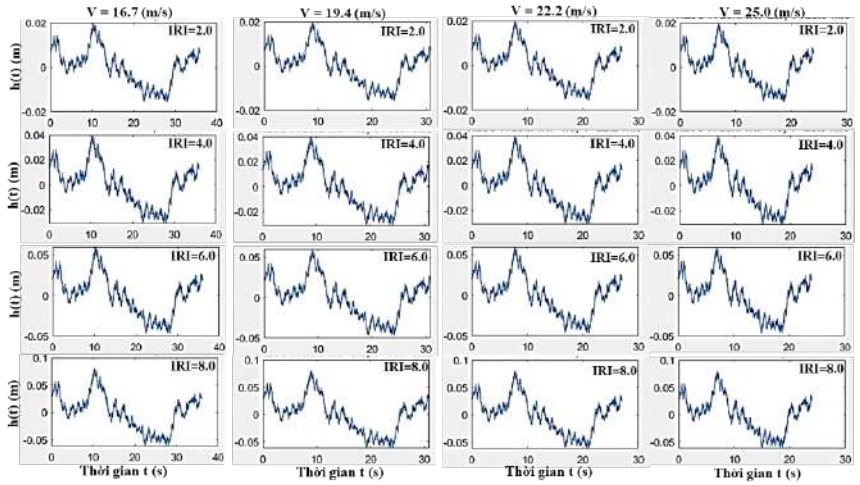


Hình 2. Kết quả phân tích chuyển vị thẳng đứng của hệ CXMĐ đối với tải trọng tĩnh

3.2. Xác định tải trọng động

3.2.1. Mô hình mấp mô mặt đường theo IRI

Theo TCVN 8865:2011, chỉ số IRI biểu thị độ gồ ghề mặt đường, với giá trị từ 0 đến 20 – càng cao thì mặt đường càng kém bằng phẳng. Tại Việt Nam, giá trị IRI thiết kế dao động từ 2 đến 2.5 tùy theo cấp đường. Quan H. V. và nnk. (2023) nhận thấy rằng ở các mức IRI thiết kế, tải trọng động không ảnh hưởng đáng kể. Do đó, nghiên cứu giả định các giá trị IRI trong khai thác lần lượt là 4, 6 và 8 để mô phỏng bằng phương pháp số. Hình 3 thể hiện dao động mặt đường $h(t)$theo thời gian ứng với các giá trị IRI từ 2.0 đến 8.0 đối với xe tải HL93. Khi IRI tăng, biên độ dao động của mặt đường cũng tăng rõ rệt: từ 1.7 cm (IRI = 2.0) đến 6.9 cm (IRI = 8.0). Điều này cho thấy mặt đường càng gồ ghề thì tải trọng động tác động lên xe và nền đường càng lớn. Tại IRI = 2.0, mặt đường tương đối bằng phẳng, dao động nhỏ và ổn định. Tuy nhiên, khi IRI đạt 4.0–6.0, dao động tăng gấp đôi, cho thấy mặt đường đang xuống cấp. Tại IRI = 8.0, dao động cực đại cho thấy mặt đường đã hư hỏng nghiêm trọng, cần bảo trì ngay để đảm bảo an toàn và tuổi thọ khai thác.Kết quả này khẳng định mối quan hệ tuyến tính giữa IRI và độ gồ ghề, đồng thời nhấn mạnh tầm quan trọng của việc kiểm soát IRI trong bảo trì mặt đường hiệu quả.

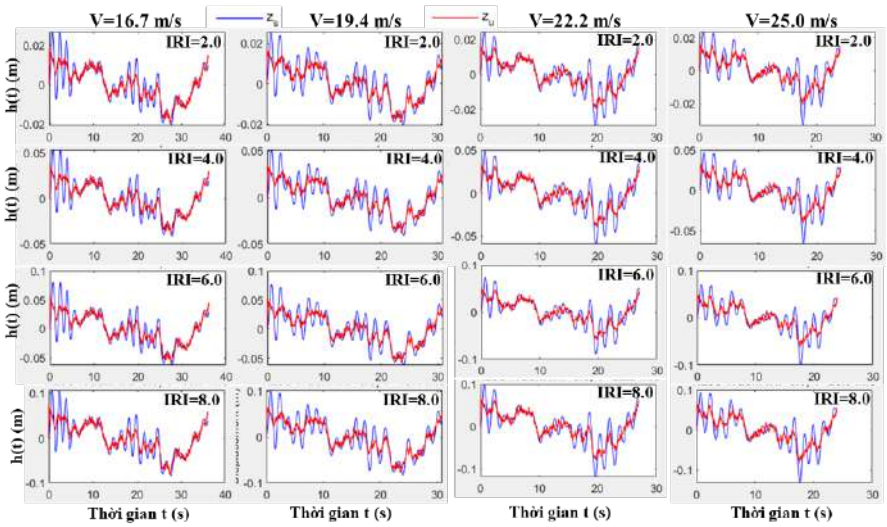


Hình 3. Kết quả mô phỏng dao động mặt đường theo giá trị IRI = 2, 4, 6, và 8

3.2.2. Phân tích dao động xe

Hình 4 cho thấy khi chỉ số IRI (2, 4, 6, 8) và vận tốc xe tăng (60, 70, 80, 90 Km/h), biên độ dao động của khung xe và trục bánh xe (trong mô hình 1/4 xe HL93) cũng tăng rõ rệt. Ở IRI = 2.0 và tốc độ xe 60 km/h, dao động nhỏ và ổn định. Ngược lại, khi IRI đạt 8.0 và vận tốc 90 km/h, dao động trở nên lớn và bất ổn, đặc biệt tại trục bánh xe. Qua đó cho thấy IRI càng cao, tốc độ xe chạy càng lớn thì tác động càng rõ rệt và là nguyên nhân chính gây mặt đường xuống cấp. Xu hướng tăng biên độ dao động theo IRI và vận tốc cũng chỉ ra tầm quan trọng của việc duy trì mặt đường

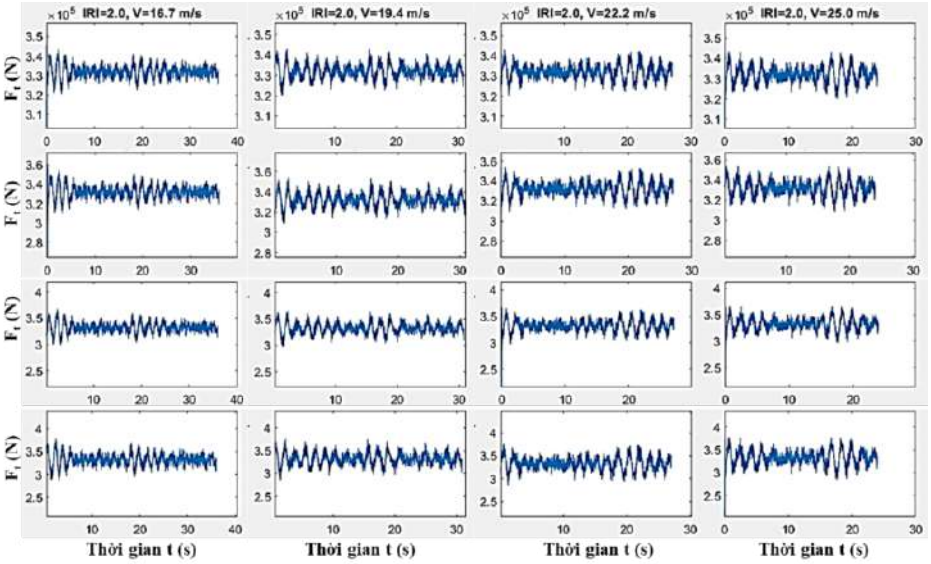
ở mức IRI thấp và hạn chế vận tốc ở các đoạn đường xấu để giảm thiểu tác động tiêu cực. Kết quả nghiên cứu nhấn mạnh tầm quan trọng của việc duy trì mặt đường bằng phẳng (IRI thấp) và kiểm soát vận tốc, nhằm giảm tải trọng động, tăng độ êm ái và đảm bảo an toàn giao thông.



Hình 4. Mô phỏng dao động của xe theo giá trị IRI và vận tốc tương ứng

3.2.3. Phân tích dao động tải trọng động theo chỉ số IRI và vận tốc xe

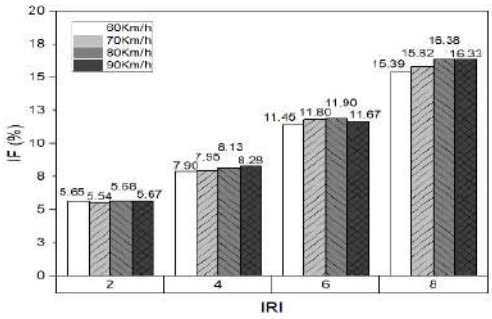
Hình 5 minh họa sự thay đổi của tải trọng động dọc trục F_t theo thời gian, được tính toán bằng mô hình phương tiện HL-93 với biến thiên IRI và vận tốc xe. Cụ thể, các mức IRI được xem xét gồm: 2.0, 4.0, 6.0 và 8.0, tương ứng với các cấp độ chất lượng mặt đường từ tốt đến xuống cấp nghiêm trọng. Đồng thời, bốn mức vận tốc 60 km/h, 70 km/h, 80 km/h và 90 km/h (tương đương 16.7 m/s, 19.4 m/s, 22.2 m/s và 25.0 m/s) được mô phỏng để đánh giá tác động kết hợp của điều kiện vận hành và hiện trạng mặt đường. Kết quả phân tích cho thấy, khi chỉ số độ gồ ghề mặt đường (IRI) ở mức thấp, cụ thể IRI = 2.0, tải trọng động tác dụng lên mặt đường hầu như ổn định với biên độ dao động nhỏ, giá trị cực đại chỉ khoảng 343 kN, chứng tỏ ảnh hưởng của lực động không đáng kể trong điều kiện mặt đường bằng phẳng và tốc độ xe thấp. Tuy nhiên, khi IRI tăng lên 4.0 và 6.0, biên độ dao động của tải trọng động (Ft) bắt đầu gia tăng rõ rệt, đặc biệt ở các vận tốc cao (80–90 km/h), thể hiện sự cộng hưởng giữa độ gồ ghề mặt đường và gia tốc của phương tiện. Đáng chú ý, tại IRI = 8.0 và vận tốc 90 km/h, biên độ tải trọng động đạt giá trị cực đại lên đến 378 kN, cho thấy sự kết hợp giữa mặt đường xuống cấp và tốc độ cao có thể tạo ra tác động động lực lớn bất thường, tiềm ẩn nguy cơ làm tăng ứng suất và biến dạng trong kết cấu áo đường cũng như nền móng công trình. Từ những phân tích này, có thể khẳng định rằng cả độ gồ ghề mặt đường và vận tốc phương tiện đều là những yếu tố chính ảnh hưởng đến tải trọng động, đồng thời làm gia tăng nguy cơ hư hỏng đối với các công trình đường bộ, đặc biệt là những kết cấu nằm trên nền đất yếu được gia cố bằng cọc xi măng đất. Do đó, việc kiểm soát chỉ số IRI và vận tốc khai thác là hết sức cần thiết để bảo đảm an toàn và tuổi thọ công trình.



Hình 5. Sự thay đổi tải trọng động theo thời gian với biến thiên IRI và vận tốc xe

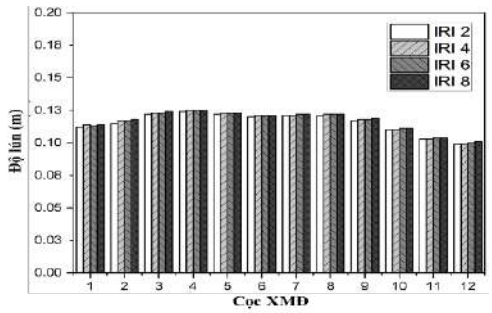
3.3. Đánh giá biến dạng hệ CXMĐ dưới tác động của tải trọng động

Hình 6 minh họa mối quan hệ giữa hệ số xung kích (Impact Factor – IF) và chỉ số độ gồ ghề mặt đường (IRI) tại các mức vận tốc khác nhau. Kết quả nghiên cứu cho thấy chỉ số tải trọng động (IF) có xu hướng tăng tỷ lệ thuận với độ gồ ghề mặt đường (IRI). Cụ thể, khi IRI tăng từ 2 lên 8, giá trị IF cũng tăng từ 5.67% lên 16.33%, phản ánh rõ rệt tác động tiêu cực của sự xuống cấp mặt đường đến cường độ tải trọng động. Bên cạnh đó, vận tốc xe càng cao thì IF càng lớn, thể hiện hiệu ứng động năng tăng lên khi phương tiện di chuyển nhanh trên mặt đường không bằng phẳng. Ở điều kiện IRI = 2, IF dao động quanh 5.6%, tương đồng với kết quả của Park et al. (2014) – ghi nhận 5.2% tại trục trước và 6.8% tại trục sau khi IRI = 1.7, cho thấy độ tin cậy của mô hình phân tích. Đáng chú ý, ảnh hưởng của IRI thể hiện mạnh hơn so với vận tốc: tại IRI = 8, IF luôn đạt giá trị cao nhất ở mọi vận tốc khảo sát, chứng minh rằng chất lượng mặt đường là yếu tố chi phối chủ yếu đến mức độ tác động động lực lên hệ thống nền – mặt đường. Qua đó nghiên cứu này một lần nữa cho thấy vai trò của việc duy trì mặt đường bằng phẳng (IRI thấp) nhằm giảm tải trọng động, kéo dài tuổi thọ công trình và đảm bảo an toàn giao thông.



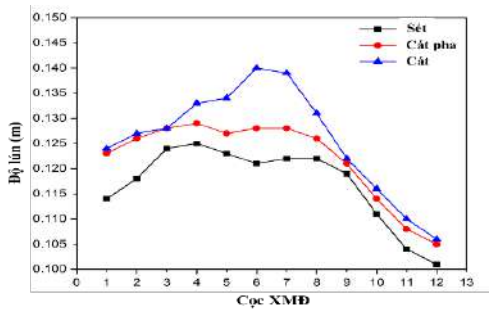
Hình 6. Hệ số xung kích IF

Ngoài ra, mối quan hệ giữa độ lún hệ CXMĐ và các chỉ số IRI cũng được xét đến trong nghiên cứu này. Hình 7 thể hiện độ lún của 12 cọc xi măng đất ứng với các mức chỉ số độ gồ ghề mặt đường (IRI = 2, 4, 6, 8). Kết quả cho thấy độ lún tăng nhẹ so với tải trọng tĩnh, nhưng gần như không bị ảnh hưởng đáng kể bởi sự thay đổi của IRI. Tại mọi vị trí cọc, độ lún duy trì ổn định khi IRI tăng, phản ánh rằng độ gồ ghề mặt đường không phải là yếu tố chi phối chính. Điều này cho thấy tải trọng động do độ gồ ghề đã được tiêu tán hiệu quả qua lớp đất đắp trước khi tác động đến hệ cọc. Từ đó khẳng định đặc tính ổn định và khả năng giảm dao động tốt của cọc xi măng đất trong điều kiện mặt đường xấu.



Hình 7. Mối quan hệ giữa chuyển vị cọc xi măng đất và độ gồ ghề mặt đường

Bên cạnh đó, đặc tính loại đất đắp trên hệ CXMĐ là yếu tố ảnh hưởng đáng kể đến chuyển vị của hệ CXMĐ. Hình 8 trình bày độ lún của hệ cọc xi măng đất trong ba loại đất đắp: đất sét, cát pha và cát. Kết quả cho thấy đất cát gây ra độ lún lớn nhất (đỉnh ~0.14 m tại cọc số 6), tiếp theo là cát pha, trong khi đất sét có độ lún thấp nhất (~0.125 m). Độ lún giảm dần từ cọc 7 đến 12 ở cả ba loại đất. Sự chênh lệch độ lún phản ánh rõ ảnh hưởng của đặc tính cơ học đất đắp. Đất tốt hơn (cát) có độ cứng cao, làm giảm khả năng tiêu tán dao động, dẫn đến truyền lực lớn hơn lên hệ cọc. Điều này nhấn mạnh vai trò việc lựa chọn loại đất đắp phù hợp trong thiết kế nền đường sử dụng cọc xi măng đất.



Hình 8. Ảnh hưởng loại đất đắp đến chuyển vị hệ CXMĐ.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã phân tích ảnh hưởng của tải trọng động đến biến dạng và chuyển vị của hệ cọc xi măng–đất (CXMĐ) trong điều kiện nền đất yếu khu vực Đồng bằng sông Cửu Long. Các kết quả chính có thể tóm lược như sau:

(i) Chỉ số độ gồ ghề mặt đường (IRI) và vận tốc xe càng lớn thì tải trọng động và hệ số xung kích (IF) càng tăng, dẫn đến dao động và biến dạng hệ CXMĐ gia tăng.

(ii) Lớp đất đắp phía trên đóng vai trò quan trọng trong việc tiêu tán dao động, giúp duy trì sự ổn định và kiểm soát độ lún.

(iii) Loại đất đắp ảnh hưởng trực tiếp đến biến dạng: đất cát gây lún lớn nhất, trong khi đất sét có khả năng kiểm soát lún tốt hơn.

Nhìn chung, việc kiểm soát chỉ số IRI và lựa chọn đất đắp phù hợp là các giải pháp then chốt để thiết kế tối ưu hệ CXMĐ, góp phần giảm thiểu biến dạng, nâng cao tuổi thọ và hiệu quả khai thác công trình giao thông.

Tài liệu tham khảo

Agostinacchio M., Ciampa D., Olita S., 2014. The vibrations induced by surface irregularities in road pavements–a Matlab® approach. *Eur. Transp. Res. Rev.*, 6, pp 267–275.

Châu Ngọc Ẩn, Bùi Trường Sơn, và Lê Thị Ngọc Lan, 2005. Đặc Điểm Biến Dạng Của Nền Đất Yếu Khu Vực Thành Phố Hồ Chí Minh Và Đồng Bằng Sông Cửu Long Trên Cơ Sở Mô Hình Cam Clay. *Hội Nghị Khoa Học & Công Nghệ Lần Thứ 9*, 1, pp 685–689.

Chai, J. C., Miura, N., & Hino, T. (2019). Failure mechanism of embankment on soft ground improved with cement columns: A case study in Saga, Japan. *Soils and Foundations, 59*(2), pp 353–367. https://doi.org/10.1016/j.sandf.2019.02.002

Dang, C. C., Dang, L. C., Khabbaz H., Sheng D., Chi H. 2021. Numerical study on deformation characteristics of fibre-reinforced load-transfer platform and columns-supported embankments. *Canadian Geotechnical Journal*, 58(3), pp 328-350.

Giang P. H. H., Nguyen, H. T., & Tran, T. V. 2022. Effects of geometric and mechanical factors on horizontal displacement in soil–cement column systems. *Vietnam Journal of Construction*, 16(1), pp 51–58.

Giang, P. H. H., Tran, M. D., & Le, K. T. 2024. A review of deep soil mixing application in infrastructure projects in the Mekong Delta. *Journal of Geotechnical Science*, 18(2), pp 112–120.

Hai, T. M., Thu, T. M., & Thang, D. (2021). Nghiên cứu gia cường nền đất yếu đường đầu cầu bằng cọc bê tông cốt thép. *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường*, 76, pp 74-80 .

Nguyễn, Tấn Nguyên, 2018. Mô hình hóa nền đường dẫn vào cầu gia cố bằng hệ cọc xi măng đất kết hợp với vải địa kỹ thuật. *Tạp chí Khoa học công nghệ Giao thông Vận tải*, 26(2), pp 35–39.

Park, D. W., Papagiannakis, A. T., & Kim, I. T. 2014. Analysis of dynamic vehicle loads using vehicle pavement interaction model. *In KSCE Journal of Civil Engineering* (Vol. 18, Issue 7, pp. 2085–2092). https://doi.org/10.1007/s12205-014-0602-3

Quan, H. V., Nguyen, T. V., & Tran, D. H. 2023. Effects of road surface roughness and vehicle speed on dynamic load coefficient in road design. *Vietnam Journal of Transport Engineering and Technology*, 10(1), pp 44–52.

Singh, A. K., & Mishra, A. 2023. Numerical modeling of soil–cement column–platform system subjected to embankment loading. *Geomechanics and Engineering*, 35(2), pp 101–116. https://doi.org/10.12989/gae.2023.35.2.101

TCVN 4054:2005. *Đường ô tô – Yêu cầu thiết kế.*

TCVN 9355:2012. *Nền đường ô tô đắp trên đất yếu – Yêu cầu kỹ thuật và thi công.*

TCVN 9403:2012. *Cọc xi măng đất – Thi công và nghiệm thu.*

TCVN 9906:2014. *Gia cố nền đất yếu bằng phương pháp trộn sâu – Thi công và nghiệm thu.*

TCVN 11823:2017. *Cầu đường bộ – Thiết kế mố trụ.*

TCCS 41:2022/TCĐBVN. *Tiêu chuẩn cơ sở – Tải trọng thiết kế cho nền đường ô tô đắp trên nền đất yếu.*

Yen, N. T. N., & Viet, T. T. 2020. Ảnh hưởng của các thông số hình học cọc xi măng đất đến ổn định nền đường đắp trên đất yếu. *Tạp chí Khoa học Thủy lợi và Môi trường*, 68, pp 10–18.

Deformation Behavior of Cement–Soil Column Reinforced Road Subgrade under Traffic Loading in the Mekong Delta

Pham Huu Ha Giang[1,*], Dang Tan Dam[1], Nguyen Truong Phat[1], Pham Minh Triet[1]
[1]*Can Tho University*
**Corresponding author: Email: phhgiang@ctu.edu.vn*

Abstract

This study focuses on analyzing the deformation behavior of cement-soil columns (CSC) systems in the weak soil conditions typical of the Mekong Delta region, subjected to design dynamic loads in accordance with the Vietnamese standard TCVN 11823-2017. The analytical calculations and numerical simulations using finite element methods (Plaxis 2D) are employed in this study. The results reveal that pavement roughness and the geotechnical properties of the embankment fill have a significant influence on the displacement and deformation of the CSC system. The findings offer valuable scientific insights for the design and construction of road foundations treated with CSC, providing practical recommendations to enhance the performance and longevity of transportation infrastructure.

Keywords: cement–soil columns; soft soil; road subgrade deformation.

NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG MÔ HÌNH CẤU TRÚC HỆ THỐNG TẦNG CHỨA NƯỚC VÙNG ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG ỨNG DỤNG PHẦN MỀM RockWork17

Phạm Thị Việt Nga[1,2,*], Dương Văn Bình[1,2]

[1]Trường Đại học Mỏ - Địa chất

[2] Nhóm nghiên cứu Địa chất công trình và Địa môi trường, Trường Đại học Mỏ - Địa chất

**Tác giả liên hệ: Email: phamthivietnga.dcct@humg.edu.vn*

Tóm tắt

Bài báo trình bày phương pháp và kết quả của việc xây dựng mô hình 3D cấu trúc hệ thống tầng chứa nước tại Đồng bằng Sông Cửu Long (ĐBSCL) bằng cách sử dụng phần mềm chuyên dụng RockWork17. Hệ thống các tầng chứa nước vùng ĐBSCL gồm tám tầng chứa nước riêng biệt trong trầm tích Kainozoi và là một nguồn tài nguyên nước ngầm quan trọng. Để phục vụ cho các nghiên cứu chuyên sâu về môi trường địa chất và quản lý tài nguyên, việc mô hình hóa cấu trúc nền là một bước quan trọng đầu tiên. Mô hình này giúp chuyển đổi các thông tin địa chất phức tạp thành các hình ảnh trực quan, dễ hiểu cho các nhà nghiên cứu, nhà hoạch định chính sách và công chúng. Các kết quả đầu ra bao gồm mô hình khối 3D, các bản đồ 2D (đẳng bề dày, đẳng cao độ…) và các mặt cắt sẽ cung cấp cơ sở dữ liệu quan trọng để đánh giá các khu vực nhạy cảm, quản lý tài nguyên nước và cảnh báo tai biến địa chất, hỗ trợ cho công tác quản lý môi trường bền vững. Dữ liệu và kết quả từ RockWork17 có thể dễ dàng kết nối và sử dụng trong các phần mềm khác như MapInfo, ArcGIS, Google Earth để thực hiện các phân tích địa môi trường phức tạp hơn.

***Từ khóa**:* Mô hình 3D, hệ thống tầng chứa nước, ĐBSCL, Rockwork.

1. Mở đầu

Đồng bằng sông Cửu Long của Việt Nam là vùng đồng bằng ven biển, có địa hình bằng phẳng, cao độ địa hình thấp, đường bờ biển dài, chịu ảnh hưởng mạnh mẽ từ thủy triều và nước biển dâng. Nước dưới đất tại khu vực này là một nguồn tài nguyên nước ngọt vô cùng quan trọng, đặc biệt trong bối cảnh ĐBSCL đang phải đối mặt với hiện tượng xâm nhập mặn ngày càng nghiêm trọng. Để phục vụ cho các nghiên cứu về môi trường địa chất, nghiên cứu về cấu trúc địa chất, địa chất thủy văn của khu vực là điều kiện tiên quyết.

Hệ thống tầng chứa nước ở ĐBSCL gồm nhiều tầng chứa nước, phân bổ trong phạm vi độ sâu lớn. Nền khu vực ĐBSCL bao gồm đá tiền Mesozoi và trầm tích Kainozoi (DHEGSV, 2002). Trầm tích Kainozoi bao gồm các trầm tích Neogen (thành hệ Miocen và Pliocen) và trầm tích Đệ tứ (thành hệ Pleistocene và Holocene) tạo thành một hệ thống địa chất thủy văn phức tạp với 8 tầng chứa nước riêng biệt, đó là: tầng chứa nước Holocene (qh), tầng chứa nước Pleistocen trên (qp^3), tầng chứa nước. Tầng chứa nước Pleistocene giữa trên (qp^{2-3}), tầng chứa nước Pleistocen dưới (qp^1), tầng chứa nước Pliocene giữa (n_2^2), tầng chứa nước Pliocene dưới (n_2^1), tầng chứa nước Miocen trên (n_1^3), tầng chứa nước Miocen trên-giữa (n_1^{2-3}).

Mô hình hóa cấu trúc địa chất 3D là một trong những bước then chốt trong việc trực quan hóa dữ liệu địa chất và phân tích không gian. Việc tích hợp, quản lý có hệ thống và khả năng trích xuất dữ liệu dưới nhiều hình thức sẽ tạo điều kiện thuận lợi cho việc nghiên cứu, phân tích và dự báo các vấn đề địa chất, địa chất môi trường. Dữ liệu địa chất như thạch học, cấu trúc địa chất và địa tầng học gặp khó khăn trong quá trình mô hình hóa do tính không đồng nhất và sự khan hiếm dữ liệu (Trabelsi và nnk, 2011).

Bài báo này trình bày phương pháp xây dựng mô hình cấu trúc 3D bằng phần mềm Rockwork17 và áp dụng xây dựng mô hình hệ thống tầng chứa nước cho vùng đồng bằng sông Cửu Long.

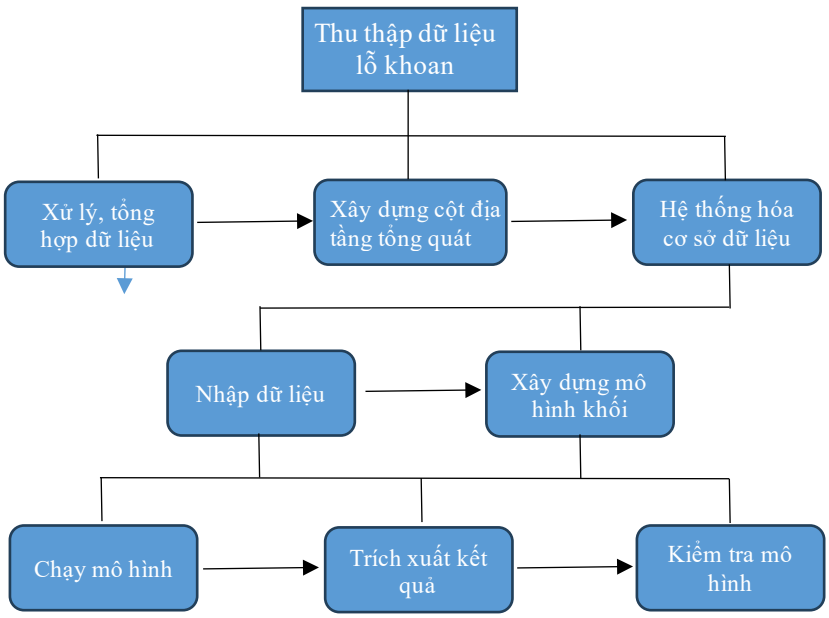
2. Quy trình xây dựng mô hình và cơ sở dữ liệu

2.1 Quy trình xây dựng mô hình trên RockWork17

Phần mềm RockWork được phát triển lần đầu vào năm 1985 bởi công ty Rockware và đã trải qua nhiều phiên bản cải tiến, phiên bản RockWork17 được sử dụng trong bài báo này. Phần mềm này được ứng dụng rộng rãi trong các ngành khai thác, dầu khí và môi trường để trực quan hóa bề mặt, quản lý cơ sở dữ liệu lỗ khoan cũng như tạo lưới, mô hình rắn và tính toán phân tích khối.

RockWork17 quản lý dữ liệu dựa trên tọa độ không gian, bao gồm tọa độ điểm, cao độ và chiều sâu hố khoan. Mỗi tọa độ hố khoan có thể chứa nhiều lớp thuộc tính (lớp dữ liệu) và phần mềm có thể quản lý nhiều lớp dữ liệu cùng lúc, giúp các thao tác chỉnh sửa, cập nhật, tra cứu hay trích xuất diễn ra nhanh chóng, chính xác và thuận tiện.

Quy trình xây dựng mô hình bằng phần mềm Rockwork17 được tiến hành theo sơ đồ như Hình 1 phía dưới.



Hình 1. Sơ đồ quy trình xây dựng mô hình bằng RockWork17

Thu thập và xử lý dữ liệu: Dữ liệu được thu thập với khoảng 200 lỗ khoan phân bố rộng khắp khu vực ĐBSCL. Các dữ liệu này bao gồm tọa độ, cao độ, độ sâu, địa tầng, thạch học. Các dữ liệu thu thập được chuẩn hóa và phân tầng dựa trên cột địa tầng địa chất thủy văn tổng quát của khu vực. Các lỗ khoan được mã hóa theo tên viết tắt của tỉnh (ví dụ: CT cho Cần Thơ, TG cho Tiền Giang) để dễ dàng lưu trữ, quản lý và cập nhật. Cơ sở dữ liệu được xây dựng trên file Microsoft Excel.

Nhập Dữ liệu: RockWork17 cho phép nhập dữ liệu trực tiếp từ file Text hoặc Microsoft Excel. Các dữ liệu số, tên thạch học, tên hố khoan, độ sâu và các ghi chú được tổng hợp dưới dạng bảng, giúp dễ dàng thao tác, chỉnh sửa và cập nhật.

Xây dựng Mô hình: Mô hình được xây dựng dựa trên hệ tọa độ VN 2000. Quy mô dự án được xác định dựa trên phạm vi dữ liệu lỗ khoan bao phủ toàn bộ khu vực, với tọa độ X từ 430.000 đến 700.000 và Y từ 945.000 đến 1.225.000. Hướng thẳng đứng được thiết lập từ -1200m đến 100m, căn cứ vào lỗ khoan sâu nhất tại tỉnh Hậu Giang với độ sâu 1.190m. Dữ liệu từ các hố khoan được nhập vào RockWork17 để xây dựng mô hình cấu trúc 3D của hệ thống tầng chứa nước.

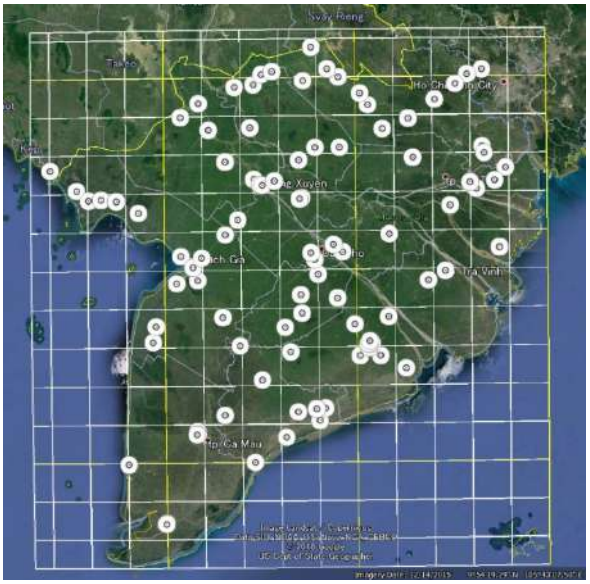
Chạy mô hình và trích xuất kết quả: Mô hình khối 3D được xây dựng cho mô hình địa tầng và thạch học. Kết quả được trích xuất dưới dạng mô hình khối 3D, các mặt cắt, các bản đồ mặt bằng chuyên môn: bản đồ đẳng cao độ, bản đồ đẳng dày từng lớp. Kiểm chứng mô hình được tiến hành với 5% hố khoan.

2.2 Cơ sở dữ liệu

Dữ liệu hố khoan được thu thập từ một số nguồn, thu thập chính từ Phòng Địa chất Thủy văn và Địa chất Công trình Liên đoàn Quy hoạch và Điều tra tài nguyên nước miền Nam Việt Nam, Cơ sở dữ liệu được xây dựng dạng bảng tính trong Excel, Bảng 1 thể hiện các thông số tổng quát về địa tầng của hệ thống địa chất thủy văn vùng nghiên cứu. Vị trí các hố khoan được thể hiện trên bản đồ trên nền Google Earth như trong Hình 1.

Bảng 1. *Thông số tổng quát của hệ thống tầng chứa nước*

Layer No.	Layer No.	Depth to top (m)			Depth to base (m)			Thickness (m)		
		Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
1	Aquitard 1	0.0	0.0	0.0	0.0	75.0	17.1	0.0	75.0	17.1
2	Holocene aquifer (qh)	0.0	75.0	16.9	0.0	75.0	23.5	0.0	42.0	6.7
3	Aquitard 2	0.0	75.0	23.6	2.0	88.7	39.1	0.0	52.0	15.3
4	Upper Pleistocene aquifer (qp3)	2.0	88.7	39.4	10.0	132.5	64.7	0.0	69.5	25.2
5	Aquitard 3	10.0	132.5	65.0	30.0	142.0	78.3	0.0	58.0	13.2
6	Upper-middle Pleistocene aquifer (qp2-3)	30.0	142.0	78.8	50.0	207.0	119.4	3.7	100.3	40.7
7	Aquitard 4	56.0	207.0	120.7	61.0	208.0	134.0	0.0	71.5	13.3
8	Lower Pleistocene aquifer (qp1)	62.0	208.0	133.9	69.5	260.3	168.3	3.5	91.0	34.4
9	Aquitard 5	98.0	260.3	171.0	111.0	268.0	188.4	0.0	53.0	17.4
10	Middle Pliocene aquifer (n22)	111.0	268.0	188.7	136.5	309.0	238.4	0.0	123.5	49.7
11	Aquitard 6	150.0	309.0	243.0	158.5	346.0	258.2	0.0	62.5	15.2
12	Lower Pliocene aquifer (n21)	158.5	346.0	256.7	190.0	376.7	300.4	2.0	98.0	43.7
13	Aquitard 7	196.7	376.7	304.6	210.0	410.0	319.3	0.0	47.2	14.6
14	Upper Miocene aquifer (n13)	210.0	410.0	323.8	222.0	565.1	375.3	0.0	200.1	51.5
15	Aquitard 8	348.0	565.1	448.7	372.0	602.0	479.4	0.0	94.0	30.7
16	Upper- Middle Miocene aquifer (n12-3)	372.0	602.0	470.6	372.0	798.0	565.0	0.0	196.0	94.4
17	MZ	50.0	798.0	271.8	64.8	1,190.0	302.1	2.0	392.0	30.3



Hình 2. Bản đồ vị trí lỗ khoan trên nền Google Earth

3. Kết quả

Kết quả đã xây dựng được mô hình 3D vùng ĐBSCL với cột địa tầng tổng quát của vùng.

- Tầng chứa nước Holocen (qh): Tầng này xuất hiện trên bề mặt gần như toàn bộ vùng đồng bằng. Nó bao gồm các trầm tích Holocen dưới - giữa (sét, bột, cát mịn và chất hữu cơ) và trầm tích biển (cát mịn đến trung bình).

- Tầng chứa nước Pleistocen trên (qp_3): Tầng này phân bố rộng rãi trên toàn vùng ĐBSCL và chủ yếu được bao phủ bởi tầng qh.

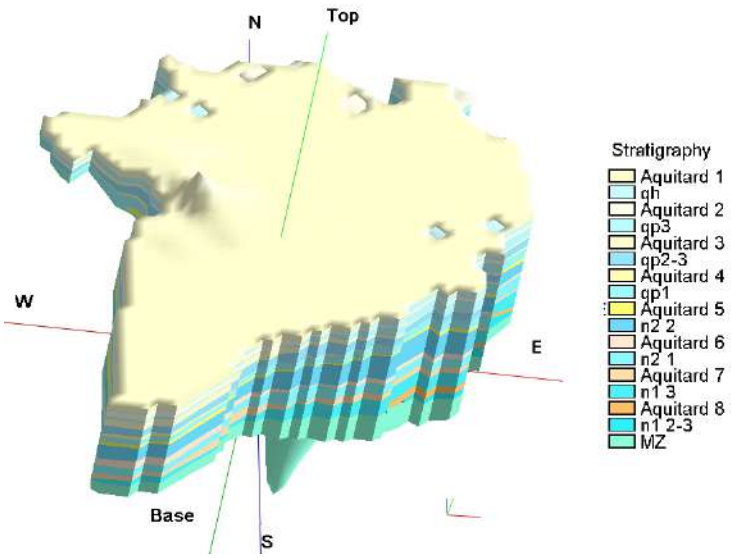
- Tầng chứa nước Pleistocen giữa trên (qp_{2-3}): Đây là một trong những tầng chứa nước có vai trò quan trọng trong cung cấp nước Tầng này có diện tích 39.279 km^2 và bao gồm các trầm tích có nguồn gốc bồi tích, biển, với thành phần thạch học gồm sỏi, cát, bột và sét.

-Tầng chứa nước Pleistocen dưới (qp_1): Tầng này phân bố trên toàn bộ vùng ĐBSCL và là một tầng chứa nước bị giới hạn. Trầm tích chủ yếu có nguồn gốc bồi tích, nhưng ở tỉnh Cà Mau lại có nguồn gốc từ biển. Độ sâu của mái tầng này nghiêng theo hướng từ Tây-Bắc sang Đông-Nam.

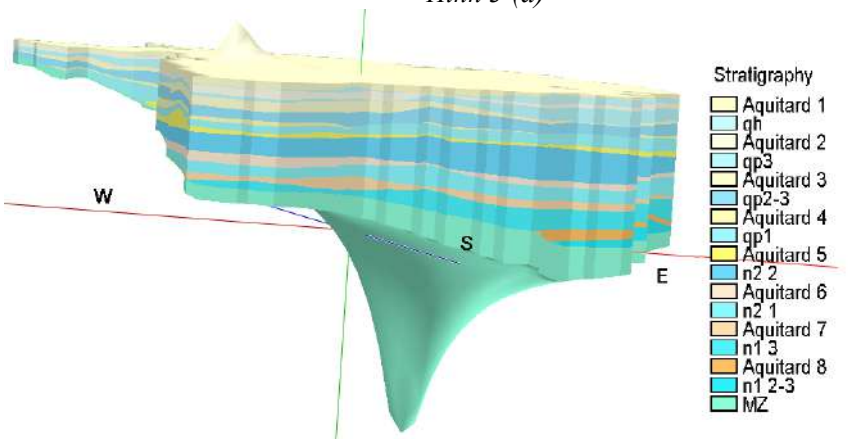
- Tầng chứa nước Pliocen giữa (n_2^2): Tầng này phân bố rộng. Bề dày của tầng này dao động trong phạm vi lớn.

- Tầng chứa nước Pliocen dưới (n_2^1): Tầng chứa nước nằm sâu, bao gồm các trầm tích có nguồn gốc bồi tích và nguồn gốc biển.

Mô hình 3D của khu vực được thể hiện trong hình 3 dưới đây.



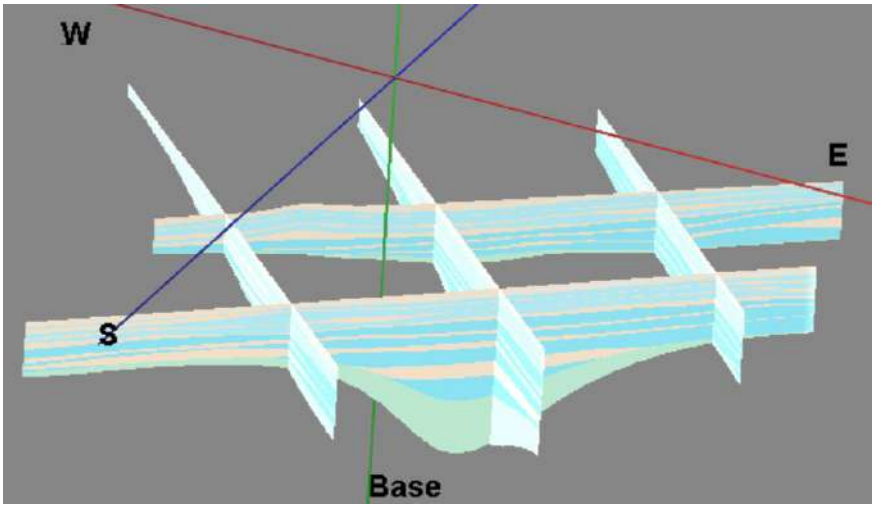
Hình 3 (a)



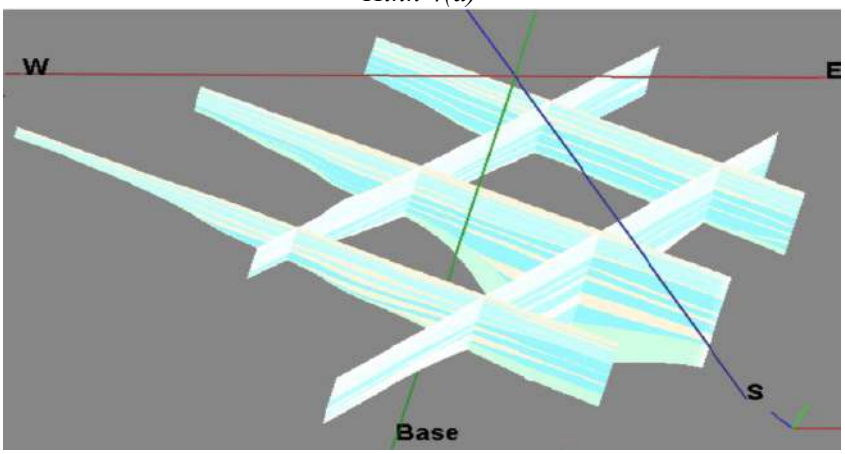
Hình 3 (b)

Hình 3. Mô hình 3D đồng bằng Sông Cửu Long

Từ mô hình 3D, có thể trích xuất các mặt cắt dạng rẻ quạt của khu vực như trong Hình 4, mặt cắt 2D theo các hướng khác nhau như trong Hình 5. Các bản đồ chuyên môn như bản đồ đẳng bề dày, đẳng cao từng tầng cũng được trích xuất dễ dàng như Hình 6 dưới đây.

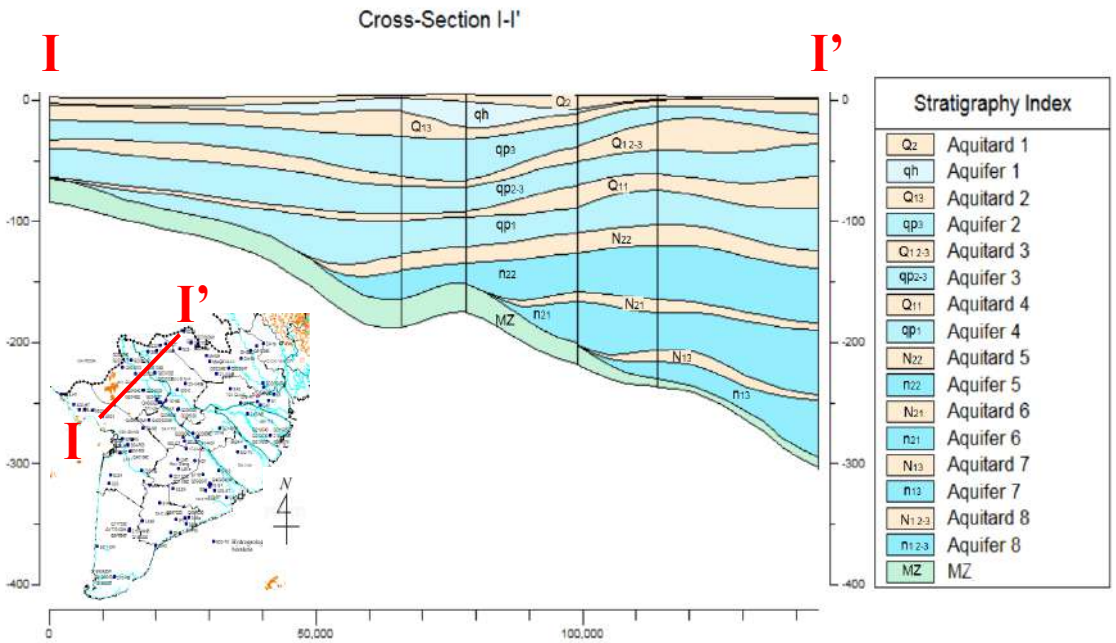


Hình 4(a)

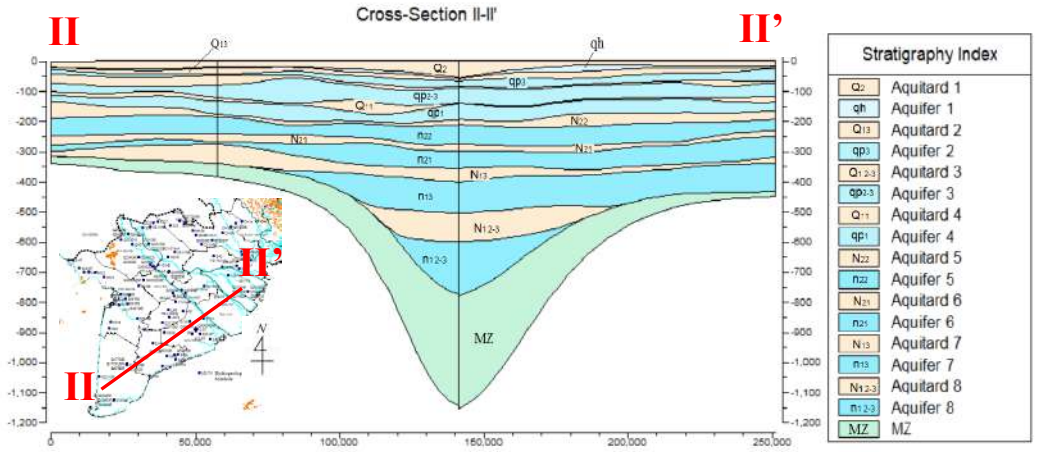


Hình 4(b)

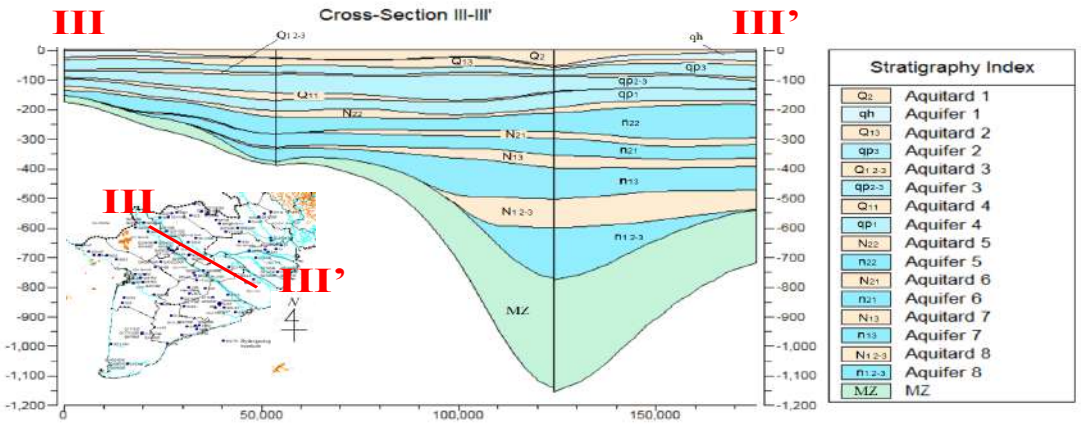
Hình 4. Mặt cắt rẻ quạt được trích xuất từ mô hình theo các hướng



Hình 5(a). Mặt cắt I-I' theo hướng TN-ĐB

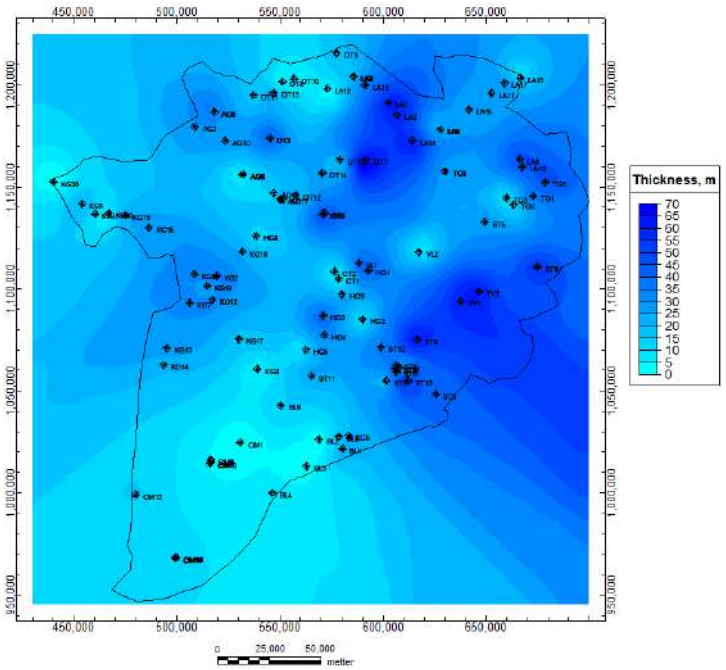


Hình 5(b). Mặt cắt I-I' theo hướng TN-ĐB



Hình 5(c). Mặt cắt II-II' theo hướng TN-ĐB

Hình 5. Các mặt cắt theo các hướng



Hình 6. Bản đồ đẳng bề dày tầng chứa nước qp3

4. Kết luận

Xây dựng mô hình 3D cấu trúc địa chất thủy văn khu vực ĐBSCL là một bước quan trọng trong việc giải quyết các bài toán liên quan đến lĩnh vực địa chất thủy văn - môi trường địa chất - môi trường. Đây là bài toán phân tích không gian phức tạp.

Việc xây dựng cơ sở dữ liệu dễ lưu trữ, quản lý và cập nhật sẽ giúp các cơ quan quản lý dễ dàng hơn trong công tác quản lý dữ liệu, mật độ dữ liệu được cải thiện sẽ càng tăng độ chính xác của mô hình.

Phần mềm Rockwork 17, có thể thiết lập một mô hình số 3D cho 1 khu vực rộng lớn như ĐBSCL. Việc lựa chọn các thuật toán phù hợp với mật độ số liệu giúp mô hình tăng tính biểu diễn. Bên cạnh đó, mô hình số được thành lập từ phần mềm Rockwork 17 có thể trích xuất kết quả dưới nhiều dạng, như dạng số liệu, dạng bản đồ 2D, dạng mô hình 3D, dạng mặt cắt 2D, các mặt cắt dạng rẻ quạt. Mô hình cũng cho phép trích xuất dữ liệu của từng lớp bản đồ, như bản đồ đẳng chiều dày, bản đồ đẳng sâu… Điều này giúp cho người xem dễ hiểu, dễ hình dung, cũng như dễ dàng cho việc áp dụng tính toán các bài toán về môi trường dịa chất sau này.

Ngoài ra các kết quả từ phần mềm Rockwork có thể dễ dàng kết nối, upload với các phần mềm khác như Mapinfo, ArcGis, Google Earth… để biểu diễn cũng như tính toán các bài toán địa môi trường khác.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ của Phòng Địa chất Thủy văn và Địa chất Công trình Liên đoàn Quy hoạch và Điều tra tài nguyên nước miền Nam Việt Nam và TS Bùi Trần Vượng đã giúp hoàn thiện nghiên cứu.

Tài liệu tham khảo

Cao, X., Liu, Z., Hu, C., Song, X., Quaye, J.A., Lu, N., 2024. Three-Dimensional Geological Modelling in Earth Science Research: An In-Depth Review and Perspective Analysis. *Minerals 2024, 14, 686. https://doi.org/10.3390/min14070686*

DWRPIS, 2010. Báo cáo thành lập Bản đồ Trầm tích Đệ Tứ vùng Đồng bằng sông Cửu Long *(Báo cáo nội bộ)*.

DWRPIS, 2011. Báo cáo Điều tra hiện trạng khai thác và sử dụng nước dưới đất Đồng bằng sông Cửu Long *(Báo cáo nội bộ)*.Fatma Trabelsi, Jamila Tarhouni, Abdallah Ben Mammou, Gaetano Ranieri, 2011. GIS-based subsurface databases and 3-D geological modeling as a tool for the set up of hydrogeological framework: Nabeul–Hammamet coastal aquifer case study (Northeast Tunisia). *Environmental Earth Sciences · November 2011. DOI: 10.1007/s12665-011-1416-y*

I.Cupido, M.Becker, G.Nwaila, 2023. Development of an implicit 3D geological moddelling workflow as a baisi for geometallurgical modelling: A case study of a pegmatite deposit. *Geomettallurgy Conference2023, Hazendal Wine Estate, Stellenbosch, Western Cape, 4-7 September 2023.*

VIMHE, 2010. The impact of climate change on water resources and adaptation. Vietnam Institute of Meteorology, Hydrology and Environment.

Building a 3D model of the aquifer system in the Mekong Delta using RockWork17 software

Pham Thi Viet Nga[1,2,*], Duong Van Binh[1,2]
[1]*Hanoi University of Mining and Geology*
[2] *Engineering Geology and Geoenvironmental Research Group, Hanoi University of Mining and Geology*
**Corresponding author: Email: phamthivietnga.dcct@humg.edu.vn*

Abstract

This paper presents the methodology and results of constructing a 3D model of the aquifer system in the Mekong Delta (MD) using RockWork17 software. The aquifer system in the MD consists of eight separate aquifers in Cenozoic sediments and is an important source of groundwater resources. For in-depth studies on geological environment and resource management, modeling the substructure is an important first step. This model helps to convert complex geological information into visual images that are easy to understand for researchers, policymakers and the public. The outputs include 3D solid models, 2D maps (thickness, elevation, etc.) and cross-sections that will provide important databases for assessing sensitive areas, managing water resources and warning of geological hazards, supporting sustainable environmental management. Data and results from RockWork17 can be easily connected and used in other software such as MapInfo, ArcGIS, Google Earth to perform more complex geoenvironmental analyses.

Keywords: 3D modeling; aquifer system; Mekong Delta; Rockwork.

KỶ YẾU HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC VIETGEO 2025

TRƯỜNG ĐẠI HỌC TRÀ VINH, VIỆT NAM

NGÀY 24 & 25 THÁNG 10 NĂM 2025

ĐƠN VỊ ĐỒNG HÀNH

BỘ MÔN ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH

Địa chỉ: Phòng 403, nhà C12 tầng, Trường Đại học Mỏ - Địa chất,
Số 18 Phố viên, phường Đức Thắng, quận Bắc Từ Liêm, Thành phố Hà Nội
Điện thoại (+84 24) 38383100
E-mail: diachatcongtrinh@humg.edu.vn
https://www.facebook.com/diakythuathumg

GIỚI THIỆU NGÀNH ĐỊA KỸ THUẬT XÂY DỰNG

Ngày 15 tháng 8 năm 2018, Bộ Giáo dục và Đào tạo đã ban hành quyết định số 2955/QĐ-BGDĐT cho phép Trường Đại học Mỏ - Địa chất được đào tạo trình độ đại học ngành **Địa kỹ thuật xây dựng, mã số: 7580211**. Sinh viên tốt nghiệp ngành Địa kỹ thuật xây dựng được cấp bằng kỹ sư thuộc lĩnh vực xây dựng. Có thể nói, Trường Đại học Mỏ - Địa chất hiện là **Trường đại học đầu tiên ở Việt Nam** được cấp mã ngành Địa kỹ thuật xây dựng. Hiện nay, một số trường đại học kỹ thuật ở nước ta đào tạo một số chuyên ngành về Địa kỹ thuật, trong đó, Trường đại học Mỏ - Địa chất đào tạo chuyên ngành Địa chất công trình - Địa kỹ thuật thuộc mã ngành Kỹ thuật địa chất.

Chương trình đào tạo ngành Địa kỹ thuật xây dựng được thiết kế với thời gian 4.5 năm. Nội dung chương trình đào tạo cung cấp đầy đủ những kiến thức cơ bản, cơ sở và kiến thức chuyên môn toàn diện về ngành Địa kỹ thuật xây dựng như: toán, kiến thức về cơ học và các kiến thức nền tảng về xây dựng; địa chất; địa chất công trình - địa kỹ thuật. Kỹ sư Địa kỹ thuật xây dựng có thể thực hiện được các công việc như: **thiết kế và thi công nền móng** của các loại công trình xây dựng; thiết kế và thi công các giải pháp Địa kỹ thuật; thiết kế và thi công các giải pháp **cải tạo và xử lý nền đất yếu**; thiết kế và tổ chức thực hiện công tác **quan trắc địa kỹ thuật**; giải quyết các bài toán liên quan đến các hoạt động **tai biến địa chất và môi trường**; thực hiện các công tác **khảo sát địa kỹ thuật** cho các đối tượng công trình xây dựng dân dụng - công nghiệp, công trình giao thông, thủy lợi, sân bay, bến cảng, các công trình ngầm, công trình khai thác mỏ và các công trình quân sự…

Thiết kế xử lý mái dốc

Thiết kế xử lý nền đất yếu

Thiết kế các giải pháp ổn định hố móng sâu

Khảo sát, đánh giá ổn định bờ sông, bờ biển

Khảo sát địa kỹ thuật phục vụ thi công công trình dân dụng và công nghiệp

Khảo sát địa kỹ thuật phục vụ thi công công trình ngầm

Quan trắc địa kỹ thuật hố đào sâu

Quan trắc cảnh báo sớm trượt lở mái dốc

Sau khi tốt nghiệp, kỹ sư ngành Địa kỹ thuật xây dựng có thể làm việc tại các cơ quan, đơn vị sau:

- Các **doanh nghiệp về tư vấn thiết kế** và **thi công** thuộc các lĩnh vực xây dựng khác nhau như: xây dựng dân dụng - công nghiệp, xây dựng công trình giao thông, thủy lợi, sân bay, bến cảng, công trình ngầm, công trình mỏ, các công trình quân sự…
- Các **đơn vị quản lý về công tác xây dựng** nói chung thuộc các bộ ngành, các sở, các phòng ban quản lý dự án về xây dựng;
- Các **viện nghiên cứu** và các **trường đào tạo liên quan đến ngành xây dựng**;
- Các **đơn vị tư vấn khảo sát xây dựng** thuộc các lĩnh vực xây dựng dân dụng - công nghiệp, xây dựng công trình giao thông, thủy lợi, sân bay, bến cảng, công trình ngầm, công trình mỏ, các công trình quân sự…
- **Tự mở các doanh nghiệp** hành nghề trong lĩnh vực khảo sát Địa kỹ thuật, thiết kế, thi công các giải pháp địa kỹ thuật; thiết kế và thi công các giải pháp cải tạo và xử lý nền đất yếu; thiết kế và tổ chức thực hiện công tác quan trắc địa kỹ thuật; thiết kế thi công nền móng công trình xây dựng…

Một số đơn vị nổi bật đang và sẽ là nơi công tác của các kỹ sư ngành Địa kỹ thuật xây dựng:

Công ty Cổ phần FECON

Công ty CP Tập đoàn Xây dựng Hòa Bình

Công ty CP Đầu tư và Tư vấn Xây dựng ADCOM

Công ty cổ phần Đầu tư Phan Vũ

Tổng công ty Tư vấn Thiết kế Giao thông Vận tải - CTCP (TEDI)

Tổng công ty Sông Đà-CTCP

Công ty cổ phần Khảo sát và Xây dựng-USCO

Công ty TNHH Thế giới kỹ thuật

Tổng công ty Tư vấn Xây dựng Việt Nam - CTCP (VNCC)

Công ty TNHH Tập đoàn xây dựng Delta

Ngành Địa kỹ thuật xây dựng do Bộ môn Địa chất công trình, Trường Đại học Mỏ - Địa chất quản lý và tổ chức đào tạo. Bộ môn Địa chất công trình được thành lập và đào tạo từ năm 1961 tại Đại học Bách khoa Hà Nội. Sau khi trường Đại học Mỏ - Địa chất được thành lập trên cơ sở tách ra từ Đại học Bách khoa Hà Nội, Bộ môn Địa chất công trình thuộc Trường Đại học Mỏ - Địa chất và đào tạo ngành Địa chất công trình - Địa chất thủy văn, từ năm 2000 đào tạo ngành Địa chất công trình - Địa kỹ thuật và sau này là chuyên ngành thuộc mã ngành Kỹ thuật địa chất.

Hiện tại, tất cả cán bộ giảng dạy của Bộ môn đều có trình độ sau đại học. Nhiều cán bộ có trình độ tiến sỹ được đào tạo tại các nước: Anh, Pháp, Bỉ, Đức, Nhật và Canada về lĩnh vực Địa kỹ thuật xây dựng. Hiện nay, Nhà trường có đầy đủ các phòng thí nghiệm phục vụ giảng dạy khối kiến thức cơ bản và cơ sở; các **phòng thí nghiệm Địa kỹ thuật công trình**, **phòng thí nghiệm Xây dựng** với các trang thiết bị hiện đại của Châu Âu phục vụ tốt cho công tác đào tạo ngành Địa kỹ thuật xây dựng. Với hệ thống phòng thí nghiệm và các điều kiện cơ sở vật chất khác, sinh viên sẽ được học đầy đủ **kiến thức lý thuyết** và đủ **điều kiện thực hành** để nâng cao kỹ năng nghề nghiệp. Một số hình ảnh về phòng thí nghiệm Địa kỹ thuật công trình hiện nay:

Đất nước ta đang bước vào giai đoạn phát triển để trở thành nước công nghiệp nên có nhu cầu rất lớn về xây dựng các công trình hạ tầng như đường xá, cầu cống, sân bay bến cảng, các công trình thủy lợi, thủy điện; các tòa nhà cao tầng, các nhà máy, công xưởng, đường tầu điện ngầm và các công trình ngầm đô thị, các công trình phục vụ quốc phòng và dân sinh khác…. Điều kiện tự nhiên nói chung và điều kiện về địa kỹ thuật nói riêng của nước ta rất phức tạp. Miền núi và trung du có địa hình phân cắt, trong đất đá thường phát triển các hệ thống đứt gẫy và khe nứt cũng như xuất hiện nhiều tai biến địa chất như trợt lở, lũ bùn đá, hiện tượng carst, gây bất lợi cho công tác xây dựng. Miền đồng bằng có địa hình thuận lợi hơn nhưng phát triển nhiều thành tạo đất yếu, đòi hỏi phải chọn các giải pháp nền móng thích hợp cũng như áp dụng các giải pháp cải tạo, xử lý nền đất yếu trước khi xây dựng công trình, ngoài ra, còn gặp các hiện tượng địa chất như xói lở bờ sông, bờ biển…Thực tế công tác xây dựng ngày càng đa dạng, quy mô xây dựng ngày càng lớn trong điều kiện tự nhiên phức tạp luôn đặt ra những nhiệm vụ phức tạp và cấp thiết để các kỹ sư và các nhà nghiên cứu về lĩnh vực Địa kỹ thuật xây dựng giải quyết.

Để đáp ứng nguồn nhân lực về Địa kỹ thuật xây dựng hiện nay, Bộ môn Địa chất công trình, Trường Đại học Mỏ - Địa chất xác định, đồng thời với việc đào tạo kỹ sư Địa kỹ thuật xây dựng hệ đại học chính quy tuyển sinh từ năm 2019, dự kiến sẽ tổ chức đào tạo chuyển đổi bằng theo hình thức đào tạo bằng hai Địa kỹ thuật xây dựng đối với kỹ sư đã tốt nghiệp các ngành và chuyên ngành Địa chất công trình - Địa chất thủy văn, Địa chất công trình - Địa kỹ thuật và kỹ sư ngành xây dựng, giao thông. Với những kinh nghiệm thực tiễn trong lĩnh vực xây dựng đã được tích lũy nhiều năm, những kỹ sư này sẽ đáp ứng tốt yêu cầu của công tác xây dựng ở nước ta trong thời gian tới.

Ngoài ra, năm 2025, Bộ môn Địa chất công trình, Trường Đại học Mỏ - Địa chất mở và tuyển sinh ngành **Quản lý đô thị và công trình**. Đây là hướng đi mới trong sự phát triển chung của Bộ môn và xã hội.

BỘ MÔN ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH

TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA – ĐHQG-HCM
CÔNG TY CP KHOA HỌC CÔNG NGHỆ BÁCH KHOA TP. HCM
268 Ly Thuong Kiet, Ward Diên Hồng, Ho Chi Minh City
Tel: (028) 3865 1664; Fax: (028) 3864 5398
Website: https://bktechs.hcmut.edu.vn; Email: bktechs@hcmut.edu.vn

Thành lập theo Quyết định số 2673/QĐ-BGD&ĐT-TCCB ngày 03/12/1999 của Bộ Giáo dục và Đào tạo. Doanh nghiệp được chuyển đổi từ Trung tâm Nghiên cứu Công nghệ và Thiết bị Công nghiệp thành Công ty Cổ phần Khoa học Công nghệ Bách Khoa TP.HCM (MSDN: 0301417005), do Sở Kế hoạch và Đầu tư TP.HCM cấp ngày 05/12/2018.

BKTECHS – Công ty Cổ phần Khoa học Công nghệ Bách Khoa TP.HCM – là mô hình tiên phong trong hệ thống ĐHQG TP.HCM và Trường ĐH Bách Khoa, gắn kết nghiên cứu khoa học, đổi mới sáng tạo với nhu cầu thực tiễn xã hội. Với định hướng phát triển bền vững và hội nhập quốc tế, BKTECHS hướng tới vị thế hàng đầu cả nước trong nghiên cứu, ứng dụng và chuyển giao công nghệ, đặc biệt trong bối cảnh chuyển đổi số và kinh tế tri thức. Công ty đóng vai trò cầu nối đưa các kết quả nghiên cứu và giải pháp công nghệ của Trường ĐH Bách Khoa vào thực tiễn, góp phần thúc đẩy phát triển kinh tế - xã hội và công nghiệp hóa, hiện đại hóa đất nước.

Chứng chỉ và năng lực

- ISO 9001:2015; ISO/IEC 17025:2017 (LAS-XD 58.007, VLAT-1.1730).
- Chứng chỉ năng lực hoạt động xây dựng số BXD-00000105 do Cục Quản lý Hoạt động Xây dựng - Bộ Xây dựng cấp ngày 03/04/2023.
- Giấy chứng nhận năng lực Trung tâm BIM Bách Khoa TP.HCM số 0425/BIM/CNNL-CTCPKHCN, cấp ngày 20/05/2025.
- Giấy chứng nhận số 029/MKĐ xác nhận BKTECHS là đơn vị thành viên "Mạng kiểm định chất lượng công trình xây dựng Việt Nam (VNBAC)", cấp ngày 30/10/2023.
- Giấy phép hoạt động điện lực số 395/GP-SCT do Sở Công Thương TP. Hồ Chí Minh cấp ngày 12/10/2022.

Lĩnh vực hoạt động cốt lõi

- Tư vấn Khảo sát, Thiết kế, Giám sát, Kiểm định, Thử nghiệm và nghiên cứu, đào tạo và chuyển giao công nghệ BIM & AI các loại công trình xây dựng: Dân dụng & Công nghiệp; Hạ tầng kỹ thuật; Giao thông - Cầu đường, …
- Nghiên cứu, triển khai ứng dụng công nghệ mới thuộc các lĩnh vực: cơ khí, điện, thủy điện, thủy lợi, giao thông, hạ tầng kỹ thuật, cảng và công trình biển, công nghệ vật liệu, công nghệ thông tin, địa chất, môi trường, xây dựng dân dụng và công nghiệp.
- Thí nghiệm, kiểm định các tính chất cơ lý của đất đá và vật liệu xây dựng, các thiết bị cơ khí và điện; Thiết kế phương tiện cơ giới đường bộ, đường thủy.
- BKTECHS là đơn vị hoạt động khoa học và công nghệ đa lĩnh vực, bao gồm cơ khí, điện – thủy điện, thủy lợi, giao thông, công trình biển, cấp thoát nước, hóa học, địa chất, xây dựng dân dụng – công nghiệp, công nghệ thông tin và vật liệu xây dựng.
- Hàng năm, BKTECHS thực hiện nhiều đề tài nghiên cứu khoa học các cấp và công bố nhiều bài báo trong và ngoài nước, khẳng định vị thế là đơn vị tiên phong trong hoạt động nghiên cứu, chuyển giao và ứng dụng công nghệ.

Contact us / Liên hệ: PGS/TS. Đậu Văn Ngọ - Tổng Giám đốc; Tel: 0913908509
TS. Nguyễn Hữu Sơn – Phó Tổng giám đốc; Tel: 0908117499

CÔNG TY TNHH NAM MIỀN TRUNG
TRUNG TÂM THÍ NGHIỆM & KIỂM ĐỊNH VLXD NAM MIỀN TRUNG
NAM MIEN TRUNG TESTING AND CONTROLLING CENTER
Địa chỉ: 147 Trần Phú – TP. Phan Rang -Tháp Chàm, tỉnh Ninh Thuận
Điện Thoại: 0259.3210993 - Fax: 0259.3920216 - DĐ: 0918428273
Email: nammientrungltd@gmail.com
LAS-XD.371

Ngày 11 tháng 7 năm 2005, Công ty TNHH Nam Miền Trung được thành lập theo Quyết định số: 4500243576/QĐ-SKH&ĐT do Sở Kế hoạch và Đầu tư tỉnh Ninh Thuận cấp.

Công ty TNHH Nam Miền Trung thành lập Trung tâm thí nghiệm & kiểm định VLXD Nam Miền Trung mang ký hiệu mã số: LAS-XD.371, là Phòng thí nghiệm chuyên ngành xây dựng và giao thông, thủy lợi được Bộ Xây Dựng công nhận theo Quyết định số: 1550/QĐ - BXD ngày 08/8/2005 "V/v: *Công nhận khả năng thực hiện các phép thử của Trung tâm Thí nghiệm vật liệu xây dựng thuộc Công ty TNHH Nam Miền Trung*". LAS – XD.371 và công nhận lại theo Quyết định số: 1042/QĐ – BXD ngày 25/8/2008, công nhận bổ sung theo Quyết định số: 412/QĐ-BXD ngày 19/9/2011, quyết định công nhận năng lực thực hiện các phép thử của Phòng thí nghiệm chuyên ngành xây dựng theo Quyết định số 445/QĐ-BXD ngày 30/7/2015 và Giấy chứng nhận đủ điều kiện hoạt động thí nghiệm chuyên ngành xây dựng theo Quyết định số 87/GCN-BXD ngày 31/01/2019 và Giấy chứng nhận đủ điều kiện hoạt động thí nghiệm chuyên ngành xây dựng theo Quyết định số 219/GCN-BXD ngày 16/6/2023, hoạt động chủ yếu trong lĩnh vực:

- Khảo sát địa chất công trình, khảo sát địa hình, xử lý nền
- Kiểm định - thí nghiệm vật liệu xây dựng công trình
- Thiết kế, thẩm tra thiết kế xây dựng công trình dân dụng
- Giám sát thi công xây dựng công trình dân dụng, giao thông, thủy lợi
- Thi công xây dựng công trình dân dụng, giao thông, thủy lợi

Năng lực nhân sự:

Với đội ngũ kỹ sư chuyên ngành về khảo sát xây dựng hoạt động nhiều năm trong lĩnh vực tư vấn khảo sát và thí nghiệm các công trình xây dựng trong và ngoài tỉnh, Công ty chúng tôi luôn luôn hướng đến mục tiêu hoàn thiện sản phẩm của mình một cách tốt nhất, tạo niềm tin cho các đơn vị, Chủ đầu tư, Công ty tư vấn đầu tư và các đơn vị thi công trong toàn tỉnh và các tỉnh lân cận, cũng như các cơ quan chủ quản, quản lý chất lượng nhà nước và luôn mong muốn được hợp tác với tất cả những đơn vị có liên quan để Công ty chúng tôi ngày một phát triển.

Máy móc thiết bị:

Trong lĩnh vực hoạt động của mình, Công ty TNHH Nam Miền Trung có đầy đủ năng lực thiết bị về khoan thăm dò địa chất, khảo sát địa hình, có đầy đủ máy móc thiết bị phục vụ cho công tác kiểm định thí nghiệm vật liệu xây dựng.

GIỚI THIỆU

Công ty TNHH Xuất Nhập Khẩu Phú Thành Phát - Đơn vị sản xuất và phân phối các sản phẩm địa kỹ thuật hàng đầu Việt Nam. Phú Thành Phát đã tư vấn giải pháp và cung cấp vật liệu địa kỹ thuật cho hàng trăm dự án tại Việt Nam và Quốc Tế.

Với hơn 15 năm thành lập và phát triển, Phú Thành Phát đã không ngừng nghiên cứu, chế tạo và sản xuất các sản phẩm vật liệu địa kỹ thuật có tính ứng dụng cao, chất lượng kỹ thuật đạt tiêu chuẩn quốc tế.

TƯ VẤN GIẢI PHÁP ĐỊA KỸ THUẬT

Không ngừng nghiên cứu, phát triển và hành động để xây dựng các giải pháp - công nghệ góp phần vào mục tiêu phát triển bền vững của đất nước. Sử dụng tối ưu vật liệu - chi phí, các giải pháp thi công hiệu quả - an toàn, giảm thiểu phát thải carbon, thân thiện môi trường, tái chế và sử dụng hiệu quả các tài nguyên đất - nước để trở thành vật liệu hữu ích.

ĐỘI NGŨ CHUYÊN GIA CÓ TRÌNH ĐỘ KỸ THUẬT CHUYÊN MÔN CAO

Phú Thành Phát có đội ngũ kỹ sư thiết kế và chuyên gia có trình độ kỹ thuật chuyên môn cao, trực tiếp nghiên cứu, cải tiến và tìm ra giải pháp ứng dụng vật liệu địa kỹ thuật để đạt hiệu suất vượt trội tối ưu. Được trang bị đầy đủ các phần mềm, trang thiết bị phục vụ công tác kiểm tra, quản lý chất lượng cho công tác thiết kế, sản xuất và lắp đặt.

SẢN XUẤT VẬT LIỆU ĐỊA KỸ THUẬT

Sản xuất vật liệu địa kỹ thuật bằng công nghệ hiện đại, có chỉ tiêu và chất lượng đạt tiêu chuẩn Quốc Gia - Quốc Tế.

Các sản phẩm tiêu biểu: ***Vải địa kỹ thuật, rọ đá, bấc thấm,...*** mà chúng tôi cung cấp đã và đang phục vụ cho hàng trăm dự án trọng điểm tại Việt Nam và xuất khẩu trực tiếp sang thị trường Quốc Tế. Góp phần thúc đẩy sự phát triển của ngành công nghiệp xây dựng trong nước và trên toàn thế giới.

Ngoài ra, các sản phẩm của Phú Thành Phát có thể điều chỉnh theo yêu cầu của khách hàng. Đội ngũ chuyên gia của Phú Thành Phát sẽ giúp khách hàng tìm ra giải pháp tối ưu để cải thiện hiệu suất dự án, tối ưu hóa ngân sách và đạt được thông số kỹ thuật vật liệu mong muốn.

CÔNG TY CỔ PHẦN KHẢO SÁT THIẾT KẾ XÂY DỰNG ĐẤT VIỆT

BAN LÃNH ĐẠO

Giám đốc: **TS. Đỗ Hồng Thắng**

Phó giám đốc: **KS. Nguyễn Văn Trọng**

VỀ CHÚNG TÔI:

Tháng 03/2014 – Công ty Cổ phần Khảo sát Thiết kế Xây dựng Đất Việt được thành lập với mã số ĐKKD 0801079347 do Sở kế hoạch và Đầu tư tỉnh Hải Dương (cũ) cấp ngày 27/03/2014.

LĨNH VỰC HOẠT ĐỘNG

- Khảo sát xây dựng
- Thiết kế thi công – Xử lý nền móng
- Kiểm định chất lượng công trình
- Quan trắc Địa kỹ thuật
- Thí nghiệm cơ học đất và nền móng
- Thí nghiệm vật liệu xây dựng

DAVICO CHUYÊN NGHIỆP – CHIA SẺ – CHUẨN XÁC

Số 2 Nguyễn Sơn – Phường Lê Thanh Nghị - TP. Hải Phòng *0220.3898.117* *https://nenmongdatviet.vn/*

CÔNG TY TNHH TƯ VẤN, TRIỂN KHAI CÔNG NGHỆ VÀ XÂY DỰNG MỎ - ĐỊA CHẤT (CODECO)

TỰ HÀO VÀ PHÁT TRIỂN

Ngày 27 tháng 03 năm 1998, Thủ tướng Chính phủ đã ban hành Nghị định số 68/1998/QĐ-TTg cho phép thí điểm thành lập Doanh nghiệp Nhà nước trong các cơ sở đào tạo, cơ sở nghiên cứu, nhằm phát huy các tiềm năng khoa học phục vụ sự nghiệp xây dựng và phát triển đất nước. Ngày 30 tháng 8 năm 2000, **Công ty Tư vấn, Triển khai công nghệ và Xây dựng Mỏ-Địa chất** (**CODECO**) được thành lập theo Quyết định số 3630/QĐ-BGD & ĐT-TCCB của Bộ Giáo dục và Đào tạo. Theo chủ trương của Chính phủ về việc chuyển đổi Doanh nghiệp Nhà nước sang các hình thức sở hữu khác, ngày 03 tháng 4 năm 2014, Bộ Giáo dục và Đào tạo đã có Quyết định số 1173/QĐ-BGDĐT phê duyệt Đề án chuyển đổi Công ty Tư vấn, Triển khai công nghệ và Xây dựng Mỏ-Địa chất thành Công ty TNHH hai thành viên trở lên hoạt động theo loại hình doanh nghiệp khoa học công nghệ. Ngày 13 tháng 5 năm 2015, Công ty doanh nghiệp Nhà nước CODECO đã chuyển sang hình thức Công ty TNHH hai thành viên trở lên và có tên giao dịch là: **Công ty TNHH Tư vấn, Triển khai công nghệ và Xây dựng Mỏ- Địa chất** (CODECO). Địa chỉ đăng ký kinh doanh của công ty tại Số 36, Ngõ 30 phố Tạ Quang Bửu, phường Bạch Mai (trước đây là phường Bách khoa, quận Hai Bà Trưng), thành phố Hà Nội, Việt Nam. Văn phòng giao dịch tại Tầng 1, Nhà A, Trường Đại học Mỏ-Địa chất, số 18 phố Viên, phường Đông Ngạc, TP Hà Nội. Tel: 84(24) 37550428; Email: Codeco.mdc@gmail.com; Website: http://codeco.vn

Công ty TNHH Tư vấn, Triển khai công nghệ và Xây dựng Mỏ- Địa chất hoạt động Tư vấn và Thi công trong các lĩnh vực mỏ, địa chất, trắc địa, xây dựng, môi trường và lĩnh vực cơ khí – điện. Công ty CODECO là doanh nghiệp hoạt động khoa học - công nghệ, có đội ngũ cán bộ khoa học là các Giáo sư, Phó Giáo sư, Tiến sỹ, Thạc sỹ và đội ngũ kỹ sư có kinh nghiệm và tay nghề tốt. Trong suốt thời gian hoạt động, Công ty đã thực hiện nhiều công trình có chất lượng. Trang thiết bị của Công ty, cùng với cơ sở vật chất của Trường Đại học Mỏ-Địa chất được đầu tư đầy đủ, hiện đại, đặc biệt là phòng thí nghiệm, cho phép thực hiện các phép thử có chất lượng cao, đem lại sự tin tưởng tuyệt đối cho khách hàng khi lựa chọn CODECO.

Với phương châm "Trí tuệ - Chất lượng và Hiệu quả", CODECO sẽ cung cấp cho bạn những dịch vụ có hàm lượng khoa học cao và tốt nhất. CODECO luôn dành mọi nỗ lực tốt nhất để hoàn thành công trình vượt trên cả sự mong đợi của khách hàng về sự an toàn, chất lượng và hiệu quả.

LĨNH VỰC HOẠT ĐỘNG

Công ty CODECO hoạt động theo Giấy Chứng nhận đăng ký Doanh nghiệp Công ty TNHH hai thành viên trở lên. Những ngành nghề chính của công ty đã hoạt động trong nhiều năm qua gồm:

1. Lĩnh vực Mỏ - Địa chất: Hoạt động thăm dò, tìm kiếm các loại mỏ khoáng sản; đánh giá trữ lượng khoáng sản; Khảo sát Địa chất công trình - Địa kỹ thuật tất cả các dạng công tác xây dựng đối với tất cả cấp hạng công trình;
2. Lĩnh vực trắc địa và đo vẽ bản đồ địa hình, đo vẽ bản đồ địa chính và quản lý đất đai;
3. Lĩnh vực môi trường;
4. Lĩnh vực xây dựng: Hoạt động trong lĩnh vực tư vấn, thiết kế và thi công xây dựng các dạng công trình dân dụng công nghiệp, giao thông thủy lợi, …

TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT

TRUNG TÂM NGHIÊN CỨU ĐỊA KỸ THUẬT (GTC)

Văn phòng 1: Phòng 201 nhà C5 - Đại học Bách Khoa Hà Nội, phường Bạch Mai, Hà Nội - Điện thoại: 024.3868 3342
Văn phòng 2: Phòng 806/C12 - Trường Đại học Mỏ - Địa chất, phường Đông Ngạc, Hà Nội - Điện thoại: 0242 2181323
Email: diakythuat.humg@gmail.com

Lãnh đạo Trung tâm

Giám đốc: **PGS. TS Nguyễn Thế Vinh**
Phó Giám đốc: **GVC.TS Nguyễn Khắc Long**

Thông tin chi tiết

- Quyết định thành lập của Bộ Đại học và Trung học chuyên nghiệp, nay là Bộ Giáo dục và Đào tạo số 503/QĐ, ngày 16/05/1986;
- Quyết định chuyển đổi sang Tổ chức khoa học và công nghệ tự trang trải kinh phí theo Nghị định 115/2005/NĐ-CP số 1890/QĐ-BGD&ĐT ngày 30/5/2014 của Bộ Giáo dục và Đào tạo;
- Giấy chứng nhận đăng ký hoạt động Khoa học và công nghệ do Bộ Khoa học và Công Nghệ cấp: Lần đầu, số: 002, ngày cấp:15/3/1993; lần thứ 2, số: A-624, ngày 19/4/2007; lần thứ ba cấp ngày 28/9/2007; lần thứ tư cấp ngày 26/8/2014; lần thứ năm cấp ngày 16/7/2015; lần thứ sáu cấp ngày 07/7/2020; và lần thứ bảy cấp ngày 08/9/2023;
- Giấy phép hành nghề khoan nước quy mô lớn do Bộ Tài nguyên và Môi trường cấp số 101/GP-BTNMT, ngày 16/6/2021;
- Giấy chứng nhận đủ điều kiện hoạt động thí nghiệm chuyên ngành xây dựng số 18/GCN-SXD (GĐCL) do Sở Xây dựng, UBND Thành phố Hà Nội cấp ngày 07/5/2024, mã số phòng thí nghiệm LAS-XD 24.037; Giấy phép hoạt động khảo sát xây dựng Hạng I do Cục Quản lý hoạt động xây dựng gia hạn số BXD-03297 ngày 09/8/2022;
- Thực hiện quy chế đấu thầu trên mạng theo quy định của Bộ Kế hoạch và Đầu tư: *<muasamcong.mpi.gov.vn>;*
- Mã số thuế: 0100530339.

Lĩnh vực hoạt động

- Nghiên cứu, triển khai ứng dụng công nghệ mới trong lĩnh vực địa kỹ thuật, địa chất, địa chất thủy văm, địa chất công trình, địa vật lý, trắc địa, mỏ, dầu khí, khoáng sản và môi trường;
- Sản xuất thử nghiệm các thiết bị địa kỹ thuật;
- Dịch vụ KH&CN: Khảo sát, thẩm tra, kiểm tra, tư vấn, giám sát trong các lĩnh vực địa chất, trắc địa, mỏ, môi trường, vật liệu xây dựng phục vụ xây dựng công trình dân dụng, công nghiệp, giao thông, thủy lợi, hạ tầng kỹ thuật, quốc phòng, khoáng sản; Khảo sát và thực hiện các dịch vụ KH&CN khác liên quan đến lĩnh vực nghiên cứu nêu trên;
- Thiết kế - thi công nền móng, xử lý dầu-khí-nước;
- Lập và thi công đề án thăm dò khoáng sản; Điều tra, khảo sát, khoan thăm dò, khoan khai thác nước dưới đất; Quan trắc, xử lý môi trường; Thiết kế-chế tạo, nâng cấp thiết bị, dụng cụ khảo sát, thi công, thiết bị thí nghiệm;
- Đào tạo cán bộ thí nghiệm cơ học đất đá, vật liệu xây dựng, phân tích môi trường và đào tạo nâng cao trình độ chuyên môn, nghiệp vụ trong các lĩnh vực nghiên cứu nêu trên.

Một số thiết bị trong Phòng Thí nghiệm Địa kỹ thuật công trình và Môi trường của Trung tâm – LAS-XD 24.037

Khoan khảo sát Địa chất công trình trên biển

Khu du lịch Cồn Chim, tỉnh Vĩnh Long

ISBN: 978-604-76-3233-6

SÁCH KHÔNG BÁN